

Subsidier til klimavennlige teknologier.

En studie av optimale typer og baner.

Beate Ellingsen



Masteroppgave i samfunnsøkonomi

Økonomisk institutt

UNIVERSITETET I OSLO

04.05.2009

Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med avslutningen av et toårig masterstudie i samfunnsøkonomi ved Universitetet i Oslo. Arbeidet med oppgaven har vært utrolig lærerikt og utfordrende.

Jeg vil takke min veileder Mads Greaker for all hjelp, gode råd og et utrolig engasjement under hele prosessen. Videre vil jeg takke de jeg bor sammen med og medstudentene mine for all støtte og at dere har holdt ut med meg.

En ekstra takk til Maria Holtan, som har språkvasket oppgaven min.

Eventuelle feil og mangler ved oppgaven står jeg alene ansvarlig for.

Beate Ellingsen

Oslo, mai 2009.

Sammendrag

Flere studier viser at det utslippet man har i dag av klimagasser er for høyt, deriblant utslippet av karbondioksid (CO_2). Studiene viser at hvis ingenting gjøres for å redusere utslippet, vil man få store globale skader. De viser at en bør redusere utslippet og stabilisere klimagassbeholdningen i atmosfæren på et nivå rundt 450-550 ppm. CO_2e (deler per million CO_2 -ekvivalenter), innen relativt kort tid for at man skal kunne unngå de største skadene fra klimaendringene. For å kunne oppnå disse kravene, trenger man en storstilt endring i bruken av CO_2 . Dette er endringer som kan komme fra teknologisk utvikling (Stern, 2006 a).

Flere av modellene som omhandler klimapolitikk tar kun for seg en eksogen teknologisk utvikling, men man observerer at når bedrifter blir pålagt sanksjoner på utslippet de har, begynner bedriftene å se etter alternative teknologier. Min oppgave ser på hvordan man skal sette virkemidler som kan oppnå en optimal teknologisk utvikling over tid, der jeg går nærmere inn på virkemidlet subsidie. Jeg ser på hvordan subsidier til CO_2 -rensing og subsidier direkte til forskning og utvikling påvirker teknologiutviklingen, og hvordan man skal sette disse subsidiene optimalt.

I det andre kapitlet i oppgaven min presenterer jeg generelt klimaproblemet, internasjonale samarbeid og noen tidligere studiers resultater. I det tredje kapitlet tar jeg for meg teknologisk utvikling og i det fjerde kapitlet skriver jeg generelt om virkemidlene skatt, kvote og subsidie. I kapittel fem setter jeg opp en modell som bygger på modellen til Greaker og Pade (2008), der jeg har lagt til en rensesubsidie og en subsidie direkte til forskning og utvikling.

Når jeg la til subsidier i modellen fant jeg tre resultater. Det første resultatet sier at en subsidie til rensing vil føre til at "mark-upen" som monopolisten i markedet setter, vil bli redusert på grunn av en høyere etterspørselastisitet ved en subsidie. Mitt andre resultat er at verdien på en idé øker med en rensesubsidie, noe som vil gjøre det mer lønnsomt å produsere nye ideer. Mitt tredje resultat i oppsettet av modellen er at en subsidie til forskning og utvikling vil føre til at flere nye ideer blir utviklet.

Jeg har løst modellen min numerisk i excel, og i kapittel seks presenterer jeg resultatene og sammenligner de forskjellige utviklingsbanene til virkemidlene skatt og subsidier ut ifra forskjellige kostnadsfunksjoner i forskning og utviklingssektoren.

Ved en "fishing out" kostnadsfunksjon vil den optimale subsidien være en rensesubsidie som settes høyt i de første periodene og man vil tillate en lavere skattebane enn ved en klimapolitikk uten subsidie. Løsningen viser at det blir utviklet færre ideer, det vil si at man bruker mer av de ideene man allerede har. Dette kommer av en redusert "mark-up" og høyere etterspørselselastisitet. Ved en "standing on shoulders" kostnadstype er det derimot optimal å sette en høy skatt i de første periodene og en lav rensesubsidie for å få i gang teknologiutviklingen. Begge subsidiebanene stabiliserer seg på det samme nivået etter at man har nådd utslippsmålet. Men det er viktig å merke seg at subsidiebanen starter forskjellig ut i fra hvilke kostnadsfunksjoner man har i FoU sektoren.

I kapittel 7 har jeg sett på hvordan resultatene blir hvis jeg dropper antagelsen om perfekt patentbeskyttelse. Hvis man tillater at noen av ideene i modellen mister sin patent vil den optimale subsidien være en direkte subsidie til forskning og utvikling. Subsidiebanen er stigende før den begynner å avta når man nærmer seg utslippsmålet i modellen. Denne formen på subsidiebanen kommer av at man ønsker å utsette forskning og utviklingskostnadene fremover i tid.

Min oppgave konkluderer med at man bør innføre en subsidie for å få optimal teknologisk utvikling over tid. Subsidiene bør være i form av en rensesubsidie eller en direkte subsidie til forskning. Hvilken type subsidie som er mest effektiv avhenger av markedet og hvordan man skal sette subsidiebanen avhenger av kostnadsfunksjonen.

Innhold

1.	INNLEDNING	1
2.	KLIMAPROBLEMET	3
2.1	INTERNASJONALT SAMARBEID	5
2.2	TIDLIGERE STUDIERS RESULTATER	6
3.	TEKNOLOGISK UTVIKLING	9
3.1	ENDOGEN TEKNOLOGISK VEKST	10
4.	VIRKEMIDLER.....	16
4.1	SKATT	16
4.2	KVOTER	17
4.3	SUBSIDIER	18
5.	MODELLEN:.....	20
6.	RESULTATER	29
6.1.1	<i>Skatt.....</i>	<i>30</i>
6.1.2	<i>Skatt og subsidie til rensing</i>	<i>32</i>
6.1.3	<i>Skatt og subsidie direkte til forskning</i>	<i>33</i>
6.1.4	<i>“Standing on shoulders”</i>	<i>33</i>
6.1.5	<i>Sammendrag av resultatene</i>	<i>38</i>
6.2	SVAKHETER VED MODELLEN	38
7.	PATENTER	40
7.1	MODELLEN UTEN PERFEKT PATENTBESKYTTELSE	40
7.1.1	<i>Resultater</i>	<i>42</i>
8.	KONKLUSJON	46
	KILDELISTE	47

1. Innledning

Flere studier viser at det utslippet man har i dag av klimagasser er for høyt, deriblant utslippet av karbondioksid (CO_2). Studiene viser at hvis ingenting gjøres for å redusere utslippet, vil man få store globale skader. De viser at en bør redusere utslippet og stabilisere klimagassbeholdningen i atmosfæren på et nivå rundt 450-550 ppm. CO_2e (deler per million CO_2 -ekvivalenter), innen relativt kort tid for at man skal kunne unngå de største skadene fra klimaendringene. For å kunne oppnå disse kravene, trenger man en storstilt endring i bruken av CO_2 . Dette er endringer som kan komme fra teknologisk utvikling (Stern, 2006 a).

I mange modeller som omhandler klimapolitikk, har man unnlatt å se på hvilke effekter de politiske virkemidlene har på den teknologiske utviklingen. I Stern-rapporten, IPCC-rapporten og andre lignende rapporter, tar man utgangspunkt i en eksogent gitt teknologiutvikling. Men man vet at hvis bedrifter blir pålagt sanksjoner på deres utslipp av CO_2 , vil de begynne å se etter andre løsninger deriblant bedre produksjon og renseteknologier. Derfor bør modeller som omhandler klimapolitiske virkemidler også ta inn over seg hvordan virkemidlene påvirker den teknologiske utviklingen.

Greaker og Pade utviklet en modell som tar for seg markedet for rensutstyr til CO_2 . Modellen tar med teknologisk utvikling i form av en forskningssektor. Deres resultater omhandler hvordan man skal sette en optimal skattebane, og hvordan denne skattebanen blir påvirket av teknologisk utvikling. Greaker og Pade ser kun på virkemidlet skatt (Greaker og Pade, 2008). Skatt er ikke det eneste virkemidlet som blir brukt i dagens klimapolitikk. Kvoter og subsidier brukes også. For å kunne oppfylle de utslippskravene som settes av de tidligere nevnte rapportene, er man nødt til å bruke alle virkemidlene mest mulig effektivt.

Jeg vil i denne oppgaven gå nærmere inn på virkemidlet subsidie. Jeg ønsker å se på hvordan subsidier til CO_2 -rensing og subsidier til forskning og utvikling påvirker den teknologiske utviklingen og hvordan subsidiene settes for å oppnå optimal investering i teknologi over tid. I hele oppgaven forutsetter jeg at subsidiebetalingene blir brukt til sitt rette formål. Virkemidlet subsidier blir brukt fordi teknologisk utvikling er i de fleste tilfeller kostbar, og møter flere typer barrierer som den må over. En måte å få ideene til ny teknologi over kostnadsbarrierene er å gi subsidier. Det finnes flere eksempler på slike subsidier. I Norge har vi de statlige selskapene Enova SF og Gassnova SF som gir støtte til områder innen

energieffektivisering og CO₂-håndtering. Men også mange av bevilgningene den norske regjeringen gjorde i tilknytning til krisepakken som ble presentert 21.01.09 er eksempler på subsidier. Jeg kommer mer inn på tiltakspakken senere i oppgaven min.

For å oppnå de ønskede resultatene mest mulig effektivt er det viktig at man klarer å sette virkemidlene optimalt, spesielt når det kommer til subsidier, siden subsidier betales av myndighetene og ikke av den som skader klimaet. Dette fokuserer jeg på i min oppgave. Jeg vil se hvordan myndighetene bør sette skattebanen og subsidiebanen ut ifra forskjellige typer teknologisk utvikling og hvordan banene påvirkes av patentbeskyttelse.

Oppgaven min tar først for seg klimaproblemet vi står overfor, der jeg presenterer noen av konsekvensene ved et vedvarende høyt utslipp av CO₂. Dette gjør jeg for å vise at det CO₂-utslippet vi har i dag vil gi store skader over tid. Videre presenterer jeg noen resultater og beholdningsmål som tidligere studier av klimaproblemet har kommet frem til. Disse resultatene er med på å gi en pekepinn på hvordan mine løsninger bør være. I kapittel tre tar jeg for meg teknologisk utvikling og hvorfor man bør ha med teknologisk utvikling i en klimamodell. Jeg presenterer en vekstmodell av Romer (1990) som forklarer teknologisk vekst for å vise hvor grunnlaget for teknologisk vekst kommer fra i min modell. I kapittel fire presenter jeg de mest brukte virkemidlene i klimapolitikken: skatt, kvoter og subsidier for å gi en kort beskrivelse av hvordan de enkelte virkemidlene fungerer og hvordan de blir brukt. I kapittel fem setter jeg opp min modell. Jeg legger til to former for subsidie i modellen til Graker og Pade (2008), en subsidie til rensing og en subsidie direkte til forskning. I kapittel seks presenterer jeg resultater fra modellen min. Jeg finner ut hvordan man bør sette skattebanen og subsidiebanen ved forskjellige kostnadsfunksjoner i forskningssektoren. Jeg presenterer også noen svakheter ved modellen min. I kapittel syv setter jeg opp modellen min ved ikke perfekt patentbeskyttelse, fordi det å tillate perfekt patentbeskyttelse er en svakhet ved modellen. Jeg viser hvordan skattebanen og subsidiebanen bør settes i dette tilfellet og hvordan disse utviklingsbanene avviker fra tidligere løsninger av modellen.

2. Klimaproblemet

Det kommer stadig ut nye og mer alvorlige rapporter om miljøet og klimaet på jorden. Noen eksempler er Stern, FNs-klimapanel og Al Gore som alle har kommet ut med rapporter som har fått mye oppmerksomhet. Alle konkluderer med det samme: at verden står i dag overfor store klimaendringer, og disse endringene er seriøse trusler mot den verden vi lever i. Samtlige rapporter sier også at nytten man kan oppnå ved en kraftig og tidlig handling imot klimaendringene, overgår kostnadene ved ikke å handle.

Klimaproblemene kommer i hovedsak fra en for stor beholdning av klimagasser i atmosfæren, der den viktigste klimagassen er CO₂. Utslipet av CO₂ har økt med hele 80 prosent fra 1970 til 2004, og hadde en konsentrasjon på ca 380 ppm. i 2005 (IPCC, 2007). Den kraftige økningen i utslippet skyldes i hovedsak bruken av fossilebrensler. Denne menneskeskapte høye konsentrasjonen av klimagasser står mest sannsynlig for store deler av den globale temperaturøkningen.

Man har funnet ut at den globale gjennomsnittstemperaturen har økt med 0,74 grader fra 1906 til 2005, der hvor de siste elleve årene har vært de varmeste (IPCC, 2007). Resultatene fra økningen i gjennomsnittstemperaturen er ikke til å ta feil av, luft- og havtemperaturen øker. Dette fører til smelting av snø og is som igjen fører til at havnivået stiger, antallet og størrelser på bresjøer endres som igjen har ført til ustabile forhold i fjellområder, man har også regioner med en tinende permafrost. Det er også sannsynlig at vindmønstrene endrer seg, disse endringene vil påvirke tropiske stormer som igjen endrer temperaturmønstre. Golfstrømmen blir også berørt, noe som vil påvirke klimaet man har her i Norge. Mest sannsynlig har også temperaturøkningen hatt en påvirkning på de mange biologiske og fysiske systemene i naturen, ved at vårtegn kommer tidligere og vinteren senere. Både dyr og planter har trukket seg nordover, og man ser en stor endring i havområder og ferskvann ved alger og fisk som er resultat av økt temperatur i vannet.

I samtlige rapporter er man også enige om at med den nåværende klimapolitikken vil utslippet av klimagasser fortsette å øke mye mer enn den bør. I Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) sin spesialrapport angående utslipp (IPCC, 2000) estimerer de en økning av utslipp av klimagassene globalt til å være 25-90 prosent mellom 2000 og 2030. Dette vil med all sannsynlighet føre til at man får en enda større endringer i klima og miljø enn hva man har observert til nå. Dette vil gi oss en økning av den globale

gjennomsnittstemperaturen på over 2 grader, som igjen øker sannsynligheten med hele 50 % for at den globale temperaturen stiger videre med hele 5 grader, noe som vil ha svært store konsekvenser.

Forskerne tror at konsekvensene ved en temperaturstigning på bare 2 grader, vil være en mer ekstrem verden enn den vi lever i dag, tørre områder blir tørrere, mens våte områder blir våtere, kystlinjene rundt i verden får problemer med den stigende havmengden. Havnivået regner man med at kan stige mellom 18 til 59 centimeter i det 21. århundret. Man vil få en økt vannmangel og fare for tørke i tørre regioner, som i tillegg gjør det vanskelig å dyrke frem mat. Det vil si at mange steder rundt i verden som allerede i dag lider av vann- og matmangel kan ende opp med å få det enda verre. Generelt er disse områdene allerede i dag blant de fattigste delene av verden. Mange fattige vil få enda dårligere levestandard enn det de har i dag.

Det viser seg å være en høy sannsynlighet for en økning i ekstremvær, det vil si hetebølger og kraftig nedbør. Ekstremværet vil igjen føre til økt skogbrannfare, større skader i kystområder etter flom og ikke minst øke dødeligheten og omfanget av sykdommer, på grunn av flom og tørke. Igjen er det de fattigste menneskene og de mest sårbare naturressursene som vil lide mest under denne utviklingen.

I Stern-rapporten (2006 a) har de estimert seg frem til at kostnaden ved at vi ikke gjør noe med klimaet i dag er den samme som at man skal tape 5 % av globalt bruttonasjonalprodukt (BNP) hvert år fra nå og til evig tid. Men hvis vi gjør noe nå for å redusere utslippet, kan kostnadene reduseres til å bli på rundt 1 % av global BNP årlig. Hvis vi begynner å handle i større grad nå enn hva vi har gjort tidligere, er det sannsynlig at vi får begrenset den utviklingen som vi ser, om vi handler raskt. Man håper at utslippsreduksjonsmekanismene er undervurdert, i den forstand at man håper på at det er selvforsterkende mekanismer i selve stabiliseringsprosessen i atmosfæren. Dette er ikke noe vi kan basere oss på, men heller noe man bør ta som en ekstra bonus hvis det skulle inntreffe.

Uansett er det vi gjør i dag med høy sannsynlighet ikke nok for å unngå de alvorligste konsekvensene av klimaendringene. Derfor er vi nødt til å forberede oss på det som kommer, og vi er nødt til å gjøre det vi kan for å redusere konsekvensene mest mulig.

2.1 Internasjonalt samarbeid

Klima og miljøproblemet er et globalt problem, noe som gjør at globale avtaler er nødvendig for at man skal kunne oppnå betydelige endringer i klimaet. Det holder ikke at et land gjør sitt for å få ned utslippet hvis ikke andre land også gjør noe, men noen må starte det hele. Land må samarbeide og bli enige om mål, om hva som skal gjøres og hvilke virkemidler som skal brukes. Det er viktig at man forplikter seg overfor seg selv og andre om et redusert utslipp. Det gir mer troverdighet til aktører i økonomien. Dessuten er det viktig at avtalene er langsiktige og klare slik at næringslivet får muligheten til å tilpasse seg i forhold til målene som er blitt satt, og virkemidlene som brukes.

Utgangspunktet for de klimaforhandlingene vi har i dag er FNs klimakonvensjon som ble undertegnet i 1992 i Rio de Janeiro. Denne konvensjonen tar for seg behovet for å redusere klimagassutslippet og tilpasninger til de klimaendringene vi ikke kan unngå. Kyotoprotokollen ble i 2004 ratifisert av 127 land som til sammen sto for 55 prosent av det globale klimagassutslippet, og er en videreføring av denne konvensjonen (Store norske leksikon, 2008).

Landene som forpliktet seg til Kyotoprotokollen skal arbeide for å redusere klimagassutslippet. Det er kun industrilandene som har fått et direkte maksimumsmål på hvor stort utslippet de kan ha, siden disse landene må stå frem og ta ansvar. Målet som er satt i Kyotoprotokollen er at industrilandene skal redusere sine utslipp av klimagasser med minst 5 prosent i forhold til nivået i 1990 i perioden 2008-2012 (Kyoto Protocol, 1998 s 3). Det ligger i protokollen at i-landene skal bidra med å finansiere klimatiltak og teknologioverføring til fattige land.

I Kyotoprotollen kan land innfri sine mål ved bruk av tre ulike fleksible mekanismer:

- Felles gjennomføring: det er mulig å godkjenne utslipp i sitt eget land hvis man bidrar og investerer i utslippsreduserende prosjekter i andre land som har forpliktet seg.
- Den grønne utviklingsmekanismen: det er mulig å godkjenne utslipp i eget land ved å investere i klimaprojekter i u-land som ikke har forpliktet seg. Dette tilsvarer overføringer av penger og teknologier fra rike landene til de fattige landene, noe som er veldig avgjørende for å få med u-landene i Kyoto-avtalen.

- Internasjonal kvotehandel: innenfor flere land eller innad i et land blir det utstedt et begrenset antall utslippskvoter, dette gir da et utslippstak for CO₂. Man kan da kjøpe og selge rettigheter til utslipp, mer om dette under kapitlet om virkemidler.

Kyotoprotokollen var en start. Nå jobbes det videre for å inngå en ny internasjonal klimaavtale som skal ta over etter Kyotoavtalen i 2012. Man begynte forhandlingene Bali i 2007, og man jobber nå mot et globalt klimaregime som skal inneholde fem hovedelementer:

- Et utslippsmål som står som et felles mål om et globalt klimaregime.
- Utslippsreduksjoner
- Tilpasninger til klimaendringene som er uunngåelige
- Teknologisk utvikling og overføring av teknologier mellom land
- Finansiering av de forskjellige tiltakene

Dette er fem hovedelementer som man håper at flest mulig land skal komme til enighet om i løpet av forhandlingene som skal skje i København i 2009 (Miljøverndepartementet, 2008). Verden trenger en fellesbeslutning angående klimaproblemet.

2.2 Tidligere studiers resultater

Mange forskere har utviklet modeller som omhandler klimaproblemet. Studier har prøvd å kartlegge utviklingen til beholdningen av klimagasser i atmosfæren, og hvilke kostnader klimaproblemet har. Det er også forskere som har sett på hvordan man skal nå de forskjellige klimamålene, hvilke virkemidler man skal bruke, og hvordan de forskjellige virkemidlene skal brukes.

I tabell 1, som jeg har satt sammen, oppsummeres det hva noen omdiskuterte forskningsarbeider har kommet frem til, blant annet IPCC, Nordhaus og Stern-rapporten. Tabellen tar for seg hva de enkelte studiene tror konsentrasjonen av klimagasser vil være i år 2100 hvis ingenting blir gjort med det årlige utslippet vi har i dag. Videre presenterer tabellen hvilke beholdningsmål hver enkelt studie har lagt til grunn og hva kvoteprisen bør være initialt og etter 50 år (evt. 100 år) for å nå disse målene. Rensekostnaden i tabellen forteller kostnaden ved klimaendringene ut ifra avviket til BNP i 2050, hvis man tenker seg at BNP holder den veksten en har lagt til grunn.

Tabell 1: Resultater fra tidligere studier

Studie	Kriterier for klimapolitikken	Konsentrasjon 2100 ved "business as usual"	Kvotepris initialt	Kvotepris 2050	Kvotepris 2100	Målt som tap i BNP
IPCC, 2007	445-535 ppm. CO ₂ e.	855-1130 ppm. CO ₂ e.				< -5.5 prosent ¹
IPCC, 2007	535-590 ppm. CO ₂ e.	- " " -	US \$ 20-80 (år 2030)	US \$ 30-150		(-4, -0.1) prosent
Stern Report	550 ppm. CO ₂ e.	> 843 ppm. CO ₂ e.				-1 prosent
Nordhaus, Dice	Nytte- kostnads an.	685 ppm., kun CO ₂	US \$ 9 (år 2010)	US \$ 25	US \$ 55	-0,1 prosent ²
Nordhaus, Dice	420 ppm., kun CO ₂	- " " -	US \$ 39 (år 2010)	US \$ 189 (år 2055)	US \$ 208 (år 2105)	(-1.4, -1.2) prosent

Kilde: IPCC, 2007, Nordhaus, 2008 og Stern, 2006 b.

Hvis man ser bort ifra Nordhaus sine studier som er noe forskjellig fra resten, blant annet på grunn av at han har basert sine studier på en nytte- kostnadsanalyse, ser man at Stern og IPCC tror at beholdningen av klimagasser i atmosfæren i 2100 vil være rundt 900 ppm. CO₂e, hvis vi ikke gjør noe med utslippet, noe som er en ekstrem økning med tanke på at beholdningen var på rundt 380 ppm. i 2005 (IPCC, 2007). Studiene går ut ifra et mål om at temperaturen ikke skal stige mer enn 2-3 grader, det vil si at totalbeholdning av klimagasser i atmosfæren ikke kan overstige 450-550 ppm. CO₂e for at man skal kunne nå dette målet sier IPCC at kvoteprisen bør ligge rundt 50 dollar hvis man har 550 ppm. CO₂e som mål, mens i år 2050 har de kommet frem til at kvoteprisen vil ligge rundt 90 dollar per kvote. IPCC viser at det må en økning av kvoteprisene til i de første 50 årene for at man skal kunne nå beholdningsmålene.

I disse studiene er den teknologiske utviklingen gitt eksogent. Det vil si at de ikke forholder seg til at den teknologiske utviklingen kan bli berørt av kvoteprisen. Jeg vil påstå at dette er en svakhet ved disse modellene, siden man observerer at bedrifter reagerer på sanksjonene

¹ Dette er målt som prosentavvik fra verdens bruttonasjonalprodukt i referansebanen i 2050. Dersom ikke annet er nevnt gjelder dette også de andre tallene i denne kolonnen.

² Her er kostnadene og inntektene diskontert tilbake til 2005. Gjelder begge Nordhaus estimatene.

fra staten ved å se etter alternative løsninger på utslippsproblemet sitt og dermed forbedre teknologiene sine. Derfor bør modeller som skal omhandler politiske virkemidler til klimapolitikken ha en endogen teknologisk utvikling.

3. Teknologisk utvikling

For å redusere utslippet av klimagasser i atmosfæren trenger vi teknologier i form av en mer klimavennlig produksjon eller rensing. For å nå de utslippsmålene som er ønsket trenger vi flere eller mer effektive teknologier enn hva vi har i dag. Utvikling av teknologier til CO₂-rensing er noe som er mye oppe i dagens debatter, spesielt nå rundt gasskraftverket på Mongstad. Det er viktig at vi hele tiden er ute etter nye ressursbesparende teknologier og nye løsninger på de produksjonsteknologiene vi har i dag. Vi må prøve å begrense hvor avhengige vi er av utslippsintensive teknologier og infrastrukturer, spesielt innen energiforsyning. Dette er områder som har et stort utslipp over hele verden, og det er viktig at hvis nye teknologier blir utviklet, må disse teknologiene bli tilgjengelige globalt slik at flest mulig fortrest mulig kan ta i bruk de utslippsreduserende teknologiene. Hele verden trenger utslippsreduserende teknologier nå.

Spørsmålet er hvordan man skal skaffe insentiver til å utvikle disse teknologiene. Forskning og utvikling (FoU) er en prosess som er veldig kostbar over lengre tid, og som har en nokså usikker avkastning, dette gjør at insentivene til å investere i FoU er lave. Det å ta vare på miljøet er heller ikke noe bedriftene selv tjener penger på. Men det vi vet er at næringslivet reagerer på de sanksjonene som myndighetene setter opp mot utslipp av CO₂. En ønsket reaksjon på utslippsskatt eller kvote er at produsentene selv begynner å se etter måter å redusere utslippet sitt på, og at de ikke bare betaler seg ut av utslippet. Det vil si at myndighetene ønsker at næringslivet selv begynner å investere i FoU. For å oppnå disse insentivene hos produsentene er det viktig at myndighetene setter sine virkemidler riktig.

Hvordan man skal sette virkemidlene for å oppnå teknologisk utvikling avhenger av en rekke faktorer. Den viktigste er hvordan læringsmetodene for teknologien utarter seg. Man har to hovedtyper av læringsmetoder innen teknologi (Graker og Pade, 2008):

- ”Learning by doing”: en læringsmetode som skjer som et tilleggsprodukt til produksjonen, blant annet at man lærer underveis. Kunnskapsveksten er her en funksjon av nåværende rensing av utslippet.
- Forskning og utvikling: denne typen læringsmetode betyr at man legger tid og penger i å utvikle bedre teknologier, at man gjør direkte investeringer i teknologien. Men forskningen og utviklingen utarter seg på forskjellige måter ut ifra hva slags kostnadsfunksjon utviklingen har:

- ”Standing on shoulders”: betyr at en har avtagende forskning og utviklings kostnader med totalt antall teknologier som allerede er tilgjengelige. Dette betyr at jo flere ideer og teknologier som allerede har blitt utviklet og prøvd ut, jo mindre er kostnadene for å utvikle nye ideer. Det er som om man har ideer man kan bygge videre på slik at kostnadene blir mindre.
- ”Fishing out”: er det motsatte av ”standing on shoulders”. Her øker kostnadene jo flere teknologier som allerede har blitt utviklet. Det er som om man allerede har testet ut de fleste alternativene, og det å skulle finne opp noe nytt er vanskelig og dyrt.

En annen type effekt som også påvirker forskning og utviklingen er trengselseffekten ”stepping on toes”. Desto flere forskere man har som forsøker å utvikle et nytt produkt, jo vanskeligere og mer kostbart blir det for alle forskerne i sektoren å drive utvikling av nye teknologier. Dette er en effekt som er innenfor hver periode og er dermed statisk og ikke dynamisk slik som ”standing on shoulders” og ”fishing out”.

Dette betyr at hvordan myndighetene skal sette virkemidlene sine, avhenger av hvordan kostnadsfunksjonene til FoU er. Man kan få både for mye eller for lite insentiver til FoU ut ifra hvordan myndighetene setter virkemidlene sine.

Som nevnt tidligere mangler mange av modellene som omhandler klimaproblemet teknologisk utvikling. I dette delkapittelet har jeg argumentert for at man trenger teknologisk utvikling for å oppnå de klimamålene som har blitt satt, og at teknologisk utvikling er noe som er viktig for å løse klimaproblemet. Videre ser man at næringslivet reagerer i retning av teknologisk utvikling på de insentivene de får fra virkemidlene myndighetene bruker. Når myndighetene skal sette sine virkemidler må de derfor ta med denne effekten i sine avgjørelser. For å kunne løse hvordan subsidier påvirker den teknologiske utviklingen, vil jeg nå se nærmere på endogen teknologisk vekst.

3.1 Endogen teknologisk vekst

Paul Romer presenterer en basismodell innen neoklassisk vekst i artikkelen ”Endogenous Technological Change”, der vekst hovedsakelig skjer ved teknologisk utvikling. Teknologiske endringer kommer av at folk reagerer på intensiver fra markedet. Forskerne utvikler nye ideer for å tjene penger. Dette gir endogen teknologisk utvikling.

Forskernes nye ideer blir i modellen sett på som et gode, men ideene tar ikke form som et normalt gode eller et offentlig gode. Nye ideer eller design som Romer kaller det, er ikke-rivaliserende og delvis ekskluderende. Med ekskluderende menes det at man kan hindre andre i å bruke godet, i denne modellen kan man hindre andre i å bruke en ide ved å ta patent på ideen. Et ikke-rivaliserende gode betyr at flere kan bruke godet samtidig uten å hindre andre i å bruke godet. At godet er ikke-rivaliserende har to viktige egenskaper for vekst, det betyr at godet ikke er avhengig av populasjonen, og det gjør at kunnskapsspillovereffekten blir mer realistisk.

Disse egenskapene til designet, gir oss allerede en pekepinn på hvorfor det ikke blir investert optimalt i forskning og utvikling. Delvis ekskluderende gjør at man bare tidvis kan ta seg betalt for den nytten en ny idé gir. Mens spillovereffekten fører til at den som var først ute med en idé, ikke får betalt fra fremtidige forskere som videreutvikler ideen. Dette er fordi man hele tiden lærer av hva som er gjort tidligere, og produksjonen av nye ideer blir lettere.

For å se nærmere på dette problemet har Romer valgt å bruke tre sektorer i modellen sin. De tre sektorene er sluttproduktsektoren, mellomgodesektoren og forskningssektoren. Forskningssektoren lager nye ideer, ideer til nye varige kapitalgoder som de har rettigheter på. Forskning selger rettighetene på de nye ideene sine til mellomgodesektoren. Mellomgodesektoren setter ideen til verden ved å produsere det varige kapitalgodet, videre oppfører de seg som monopolister når de selger det videre til sluttproduktsektoren. Sluttproduktsektoren produserer konsumgodet. Ved å dele opp i tre sektorer så ser vi bedre hva som driver selve forskningssektoren.

Modellen til Romer har fire hovedråvarer: kapital (K), arbeid (L), menneskelig kapital (H) og indeks for teknologinivået. Menneskelig kapital blir her delt inn i en rivaliserende del som er mennesker med kunnskap (H) og en ikke-rivaliserende komponent: ideer til teknologi (A) som kan bli målt i form av antall ideer.

Sluttproduktsektoren:

Sluttproduktet krever arbeid, menneskelig kapital og det varige kapitalgodet, der den varige kapitalen kommer fra mellomgodesektoren. Vi har konstant skalaavkastning. Derfor tenker vi oss en aggregert pristaker bedrift. Sluttproduktsektoren velger mengden av arbeid og kapital de trenger, til det marginale produktet av arbeid er lik lønna og til det marginale produktet av kapital er lik leieprisen på kapital.

Mellomgodesektoren:

I mellomgodesektoren finner man bedrifter som produserer en av ideene og leier det varige kapitalgodet ut til sluttproduktsektoren. Deres monopolmakt kommer av at det kun er en bedrift som produserer en bestemt idé. Mellomgodebedriften kjøper en idé, kjøpet er en fast kostnad. Deretter så produserer de det nye varige kapitalgodet ved hjelp av råvarekapital. Inntekten de får er leieprisen de har til sluttproduktsektoren. Verdien av et varig kapitalgode er nåverdien av den uendelige leieinntekten av godet. Leieprisen de setter på godet er den samme for alle på grunn av lik etterspørsel. Og prisen er lik marginalkostnaden pluss en "mark-up". "Mark-up" vil si avviket mellom prisen og marginalkostnaden.

Forskningssektoren:

Produksjon av nye ideer eller vekst av $A(t)$ er avhengig av menneskelig kapital og mengden kunnskap som er tilgjengelig. Vi antar at all kunnskap er tilgjengelig for alle. Produksjonen av ideer avhenger positivt og lineært av innsatsfaktorene, nye ideer gir alltid økning i mengden kunnskap sektoren har.

Når en ny idé har blitt produsert, får forskningssektoren en patent på ideen. Denne patenten selger de videre til høystbydende i mellomgodesektoren. Den høyeste prisen som vil bli gitt, vil være den neddiskonterte nåverdien av monopolprofitten mellomgodesektoren vil tjene på ideen.

Likevekten for denne modellen vil være pris og kvantumsbaner som tilfredsstiller følgende kriterier:

- Konsumenten tar renta for gitt når de avgjør konsum og sparing.
- De med menneskelig kapital bestemmer om de vil jobbe i forskning eller industri, gitt total mengde kunnskap, prisen på ideen og lønna til industrien.
- Sluttproduktsektoren antar gitte priser når de velger arbeid, menneskelig kapital og forskjellige varige kapitalgoder.
- Hver bedrift som eier en idé og produserer et varig kapitalgode, maksimerer profitten gitt renta og avtakende etterspørsel. De setter priser slik at de maksimerer profitten.
- Bedrifter som vurderer å komme inn i markedet, tar prisen på ideen for gitt.
- Tilbud er lik etterspørselen for hvert gode.

Balansert vekst i likevekten:

Løsningen av modellen blir å finne en likevekt som har en balansert vekst. Balansert vekst vil være der hvor variablene oppsamlede ideer (A), total kapital (K) og produksjon (Y) vokser med en konstant eksponentiell rate. Fra grunnleggende Solow tankegang, kan vi si at dette vil skje så lenge A vokser med en konstant eksponentiell rate. Vi kan se at A vil vokse ut i fra uttrykket $\dot{A} = \delta H_A A$ som forteller hvordan mengden av ideer utvikler seg over tid, hvor H_A er mengden menneskelig kapital forskerne har og δ er en produktivitetsparameter. Dette uttrykket er lineært i A , og vokser med en konstant rate så lenge menneskelig kapital er konstant. Det vil si at fordelingen av menneskelig kapital mellom forskning (H_A) og sluttproduktet (H_Y) skal være lik i alle perioder når A , C (konsum), Y og K vokser. Fordelingen av menneskelig kapital på hver sektor avhenger av lønna. Lønna må være lik i forskningssektoren og sluttproduktsektoren, hvis ikke vil alle arbeiderne gå til sektoren med høyest lønn. Lønna er lik $w_H = P_A \delta A$ hvor P_A er prisen på nytt design. Siden produktiviteten til menneskelig kapital vokser med samme rate A i begge sektorene, vil H_A og H_Y være konstant hvis P_A er konstant.

Produksjonen vil også vokse med A hvis L (arbeidskraft), H_Y og \bar{x} er faste, der \bar{x} er varig kapital godet. Hvis vi har produksjonsfunksjonen

$$Y = H_Y^\alpha L^\beta \int_0^A \bar{x}^{1-\alpha-\beta} di$$

vil felles vekstrate for alle variablene være

$$g = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{A}}{A} = \delta H_A, \quad H_Y = H - H_A$$

fordi arbeidskapitalen er fordelt over de to sektorene. Ved hjelp av beregninger hvor lønna er lik i de to sektorene finner vi ut at andelen menneskelig kapital i sluttproduktsektoren er:

$$H_Y = \frac{1}{\delta} \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} r.$$

Vi kan videre se at:

$$g = \delta H_A = \delta H - \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} r = \delta H - \Lambda r \quad \text{der} \quad \Lambda = \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)}.$$

Dette gir forholdet mellom vekstraten og renta. Forholdet forteller oss at hvis renta blir høyere, vil man bruke mindre menneskelig kapital i forskningssektoren enn i sluttproduktsektoren. Fordi fortjenesten ved å investere menneskelig kapital i forskning er all fremtidig inntekten av ideen som blir laget neddiskontert til nåverdi, hvis renta går opp vil nåverdien av inntekten gå ned.

Vi ser også at verken L eller η (mengden kapital som trengs for å produsere en enhet varig kapitalgodet) er med i likningen. Dette er fordi en nedgang i L eller en økning i η senker avkastningen på menneskelig kapital i sluttproduktsektoren og i forskningssektoren, med like mye. Det vil si at effektene går mot hverandre og har ingen betydning. Men en økning i H vil øke vekstraten.

Menneskelig kapital til forskningssektoren:

Uttrykket til forholdet mellom vekstraten og renta forteller oss hvor mye menneskelig kapital som blir plassert i forskningssektoren. Siden forskningssektoren i denne modellen har økende skalaavkastning, det vil si at en permanent total økning i H vil føre til en mer enn proporsjonal økning av menneskelig kapital til forskningssektoren. Spørsmålet er om det allikevel blir fordelt optimal mengde H til forskning.

En har to grunner til å tro at for lite menneskelig kapital blir fordelt til forskning. Den første er at forskning har en positiv ekstern effekt. Nye ideer øker produktiviteten til all fremtidig forskning, men fordi denne egenskapen ikke er ekskluderende så vil ikke all nytten bli avspeilet i markedsprisen. Den andre grunnen er at forskningsproduktet blir kjøpt opp av en sektor som driver monopolistisk konkurranse. Prisen mellomgodet setter, er en "mark-up" over marginale kostnader. Denne "mark-upen" gir et gap mellom marginalt produktet samfunnet har og markedskompensasjonen. Forskningen vil bare motta deler av fordelene samfunnet har fra godet. Disse grunnene vil føre til at i en modell hvor menneskelig kapital blir satt endogent, vil for lite menneskelig kapital bli fordelt til forskningssektoren. Dette blir tilfellet her.

Den samfunnsøkonomiske løsning på problemet viser Romer at blir:

$$g^* = \frac{\delta H - \theta \rho}{\theta \sigma - (1 - \theta)} \text{ hvor } \theta = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

Forskjellene fra tidligere er at λ er lik θ multiplisert med markupen fra monopolsektoren som da er $\frac{1}{\alpha + \beta}$. Dette vil dekke deler av forskjellen mellom den samfunnsoptimale løsningen og markedsløsningen. Det er også en forskjell i nevnerne i de to uttrykkene. Denne forskjellen kommer av den eksterne effekten ved produksjon av nye ideer. Disse to endringene fører til høyere andel menneskelig kapital til forskning og høyere vekst.

Dette viser igjen at problemet ligger i å få verdsatt den eksterne effekten ideer har, og å få reflektert nytten og verdien samfunnet setter på ideen til selve forskningssektoren. Staten kan oppnå tilnærmet lik samfunnsøkonomisk løsning ved å subsidiere. Subsidier kan reflektere den ekstra nytten samfunnet har av ideene forskningen lager, og verdisette den eksterne effekten forskningen har. Det kan subsidieres direkte eller man kan subsidiere menneskelig kapital. For å oppsummere: Subsidier vil være et virkemiddel som kan gi mer forskning enn hva en ren markedsløsning klarer.

4. Virkemidler

For å oppnå teknologisk vekst og klimamålene er det viktig at virkemidlene som myndighetene bruker er effektive. Med effektive virkemidler menes virkemidler som er stabile, brede, tilstrekkelige og differensierte. Et stabilt virkemiddel er forutsigbart over lengre tid, slik at markedsaktørene har muligheten til å tilpasse seg. Med et bredt virkemiddel menes det for eksempel at de skal kunne hjelpe den teknologiske utviklingen under hele produksjonsprosessen, fra idé til sluttprodukt. Tilstrekkelige betyr at virkemidlene skal gi de målene man ønsker til slutt. Med differensiert menes det at typen og størrelsen på virkemidlene kan være forskjellige ut i fra hvilke fase man er i produksjonsprosessen. Mindre utviklede ideer, trenger annen støtte enn nesten ferdig produserte ideer (Teknologirådet 2009). De vanligste virkemidlene er skatt, kvoter og subsidier.

4.1 Skatt

Prinsippet bak en klimaskatt er at forurenseren må betale for skaden utslippet av klimagasser gir. Herav brukes virkemiddelet skatt i stor grad. Skatteraten skal bli satt i samsvar med den skaden utslippet gir og den betalingsvilligheten som er i markedet. Skatteraten er prisen på en enhet med utslipp. Produsenten som slipper ut CO₂ får dermed en ekstra kostnad som er betinget på hvor stort utslipp en har. Siden skatten er en utgift blir produksjonen i sektorene mindre lønnsom. Man kan dermed få færre produsenter enn hva man hadde før skatten, fordi de bedriftene som kun var marginalt lønnsomme uten skatt, ikke lenger er lønnsomme med skatt. Skatten gir bedriftene insentiver til å redusere utslippet, som er målet til myndighetene. Skatten er dermed med på å drive etterspørselen etter rensutstyr, som igjen driver etterspørselen etter nye renseteknologier.

En annen positiv egenskap med en skatt er at det er en inntekt for myndighetene. Det vil si at de positive effektene ved en skatt som er satt optimalt er; mindre utslipp, myndighetene tjener penger på det utslippet som finnes og inntekten fra utslippskatten kan brukes til å redusere effektivitetstapet ved andre vridende skatter hvis det finnes, også kalt dobbelt dividende.

I Norge brukes CO₂-avgiften som et hovedvirkemiddel for å redusere utslippet vi har her i landet. Om lag 68 prosent av de samlede CO₂-utslippene blir skattlagt. I Norge har man

skattelagt bruken av mineralolje, bensin og utslipp fra petroleumsvirksomheten. Avgiften varierer mellom 92-363 kroner per tonn CO₂ der bensinbruk er høyest avgiftsbelagt (Finansdepartementet, 2009 b).

4.2 Kvoter

En kvote er en tillatelse til å slippe ut en viss mengde CO₂ i et land eller område, den totale mengden utslipp man tillater kaller man et utslippstak. Hvis man slipper ut mer enn det kvoten tillater, må man kjøpe utslippskvoter av andre hvis man ikke greier å redusere utslippet sitt på andre måter. Dette kjøpet av tilleggskvoter vil ha den samme virkningen som en skatt. Hvis man derimot slipper ut mindre enn hva man har tillatelse til kan man selge den gjenværende kvoten og dermed få en inntekt. Slik gir også kvoter insentiver til høyere rensing av CO₂. Fordelen ved kvoter i forhold til en skatt er at myndighetene vet hvor stort det totale utslippet vil komme til å være ettersom de har satt et utslippstak, i motsetning til skatten hvor bedriftenes reduksjon av utslippet er endogent. Kvoter er derfor en måte å direkte regulere det totale utslippet. Men spørsmålene ved kvoter er; hvor mange kvoter skal det utstedes, hvordan skal kvotene fordeles og eventuelt hva skal prisen på en kvote være.

I Norge er kvotesystemet et viktig virkemiddel. Vi har hatt et kvotesystem siden 2005, og systemet er avgjørende for at Norge skal holde utslippsforpliktelsene ovenfor Kyotoprotokollen. I 2008-2012 blir kvoteplikten tre ganger så omfattende som det den var tidligere. Noe som skyldes at også petroleumsindustrien og andre virksomheter som driver over 20 MW (megawatt) også skal gå under kvotesystemet, og ikke bare CO₂-avgift slik som tidligere. Regjeringen ønsker også å utvide kvotesystemet til å inkludere flere virksomheter etter hvert (Miljøverndepartementet, 2007). Her til lands holder regjeringen fast ved prinsippet om at den som forurensar skal betale, derfor må de fleste kvotene som norske bedrifter trenger kjøpes i et marked for kvoter. De kvotene som blir delt ut fritt, er basert på gjennomsnittsutslippet en bedrift hadde i perioden 1998-2001. Derfor gir også det norske kvotesystemet inntekter til staten. Det er nå store diskusjoner rundt kvotemarkedet her i Norge. Mange vil ha det til at kvotesystemet er for usikkert når det kommer til pris, at man har tillatt for store utslipp, det vil si for mange kvoter i EU. Noen snakker om at det burde innføres et prisgulv på kvotene, for å forsikre seg at prisene ikke blir for lave slik at de rike landene kan betale seg ut av utslippet sitt. Det hele ser ut til å komme fra at målene som ble satt i Kyotoavtalen tillater for høye utslipp.

Kvoter vil som sagt fra bedriftenes synsvinkel fungere som en skatt når man må betale for de enkelte kvotene. Kun bruk av avgiftsbaserte virkemidler er ofte for dårlig for å kunne utvikle nye teknologiske løsninger, fordi teknologiutviklingen fort møter en rekke barrierer i utviklingsprosessen. Disse barrierene kan være tids- og kostnadskrevende å komme seg over, derfor vurderes det ofte ikke som lønnsomt å fortsette, spesielt på kortsikt der inntektene av helt nye ideer ikke blir regnet med. Én barriere er blant annet finanskrisen. Det er også feil å tro at markedskreftene selv gir nok insentiver til å utvikle nye teknologier. Man ser heller at markedet blir dannet etter hvert som teknologiene utvikles og blir tilgjengelige, det vil si at den nødvendige drahjelpen mange håper på fra markedet, først lar seg gjelde i mot slutten av produksjonsprosessen. En løsning kan være at myndighetene gir støtte til teknologiutvikling, hjelper nye teknologier gjennom kritiske faser av utviklingen, og får redusert prisen på teknologiene. Dette kan gjøres i form av subsidier. Som nevnt tidligere kom også Romer frem til at virkemidlet subsidier kan gi mer forskning enn hva en ren markedsløsning klarer.

4.3 Subsidier

Subsidier er støtte fra myndighetene til bedrifter. Subsidier til redusert utslipp av CO₂ betyr at myndighetene går inn og betaler bedrifter for at de skal slippe ut mindre CO₂. Det kan subsidieres direkte ved at staten gir penger til bedriftene, eller det kan subsidieres indirekte ved at staten påvirker via for eksempel lavere priser på råvarene bedriftene trenger eller skattefradrag.

Det er en rekke fordeler og ulemper ved subsidier. Ulempene er at myndighetene betaler for noe bedriftene selv burde ta høyde for i sin produksjon. En annen svakhet er at myndighetene må forsikre seg om at subsidiene går til det de skal. Subsidier fører også til at de selskapene som tidligere var marginalt ulønnsomme nå vil bli lønnsomme hvis de får en ekstra inntekt i subsidiene. Derfor kan subsidier føre til at flere bedrifter etablerer seg og at det totale utslippet faktisk øker, selv om staten har gått inn for å redusere utslippet. Siden staten også øker lønnsomheten til de forurensende bedriftene vil dette også redusere konkurranseevnen til alternative kilder. Her er det spesielt snakk om kraftselskaper. Ved at staten subsidierer rensingen til blant annet gasskraftverkene, vil det bli mindre insentiver til å utvikle alternative måter å tilegne seg kraft på, nemlig sol- vin- og bølgekraft.

Grunnen til at myndighetene faktisk går inn og innvilger mange millioner til forskning og bruk på Mongstad, er fordi mange mener at vi bør ha kraftproduksjon i landet, og produksjonen på Mongstad ville ikke vært lønnsomt hvis de måtte ha betalt for rensingen av CO₂ og forskningen på feltet selv. Derfor har staten blant annet sagt at de skal stå for hele 80 prosent av investeringene i testsenteret som skal bygges der (Tekniskukeblad, 2008). Mongstad er som sagt et eksempel på at staten går direkte inn og subsidierer utviklingen og CO₂-rensingen, men staten har i dag flere måter å støtte oppunder forskning og utvikling, blant annet ved SkatteFUNN som er skattelette til næringslivet for FoU, hvor de maksimalt kan få 20 % fradrag i skatten på kostnader til FoU aktiviteter til godkjente prosjekter (Skattefunn, 2002). Dette er indirekte støtte og som helt klart kun skal gå til FoU.

Finanskrisen

Et annet eksempel på direkte subsidier er det den Norske regjeringen nå gjør i forbindelse med finanskrisa. Man vet at finanskrisa påvirker kraftig tilgangen på kapital og gjør det vanskelig å sette i gang prosjekter som ikke er lønnsomme på kort sikt. Det vil si at FoU stiller svakt, og kan nå stå ovenfor store kutt. Myndighetene kan bruke det at mange bedrifter i næringslivet nå trenger finansiellstøtte til å veilede næringslivet mot en mer miljø- og klimavennlig økonomi. Dette kan de gjøre ved å gi støtte til de som trenger det, men kreve at midlene blir brukt på miljøvennlige tiltak.

Her i Norge kan vi se at staten i stor grad har tenkt på dette når de bevilget sine krisemidler, noen gikk så langt og kalte det for den grønne tiltakspakken. Tiltakspakken inneholdt blant annet 920 mill til teknologisenteret på Mongstad, 50 mill til ladestasjoner for elbiler, klimaforskningen blir styrket og ikke minst jernbanenettet skal bli forsterket og fikk hele 1,3 mrd. Dette er penger som gir det norske næringslivet mulighet til å satse videre på miljøet (Finansdepartementet, 2009 a)

Det finnes helt klart argumenter for teknologisk utvikling og at en måte å øke den teknologiske utviklingen er ved å subsidiere. Spørsmålet er hvordan man skal sette subsidien og hvilke konsekvenser subsidieringen faktisk har på forskning og utviklingen. Dette er hovedtema i oppgaven min og jeg vil nå bygge opp en modell som ser på disse spørsmålene.

5. Modellen:

Min modell bygger på modellen i Greaker og Pade (2008), hvor de ser på hvordan man skal bruke virkemiddelet skatt for å oppnå den målsettingen man har på beholdningen av CO₂ i atmosfæren. Greaker og Pade ser kun på en utslippsskatt, hvor man blir skattelagt ut ifra at man skal nå et konsentrasjonsmål. Mens min modell presenterer også subsidier; hvordan bruken av subsidier som et ekstra virkemiddel i tillegg til skatt, påvirker rensingen av CO₂ og den teknologiske utviklingen. Med rensing mener jeg alle kostbare tiltak som reduserer beholdningen av CO₂ i atmosfæren fra "business as usual" nivået.

Jeg tar for meg to forskjellige typer subsidier som myndighetene kan gi, ved siden av utslippsskatten. Den ene subsidien er at myndighetene er med på å betale rensekostnadene til utslippsektoren. Det vil si at myndighetene subsidierer kostnadene ved å leie renseutstyr. Den andre subsidien er at forskerne får en direkte subsidie for hver idé de utvikler.

Jeg velger å se bort ifra bruken av kun virkemiddelet subsidie per enhet rensset CO₂-utslipp, siden dette virkemiddelet vil ha akkurat samme virkning som utslippsskatten i modellen til Greaker og Pade (2008). Videre i denne modellen er jeg er nødt til å se på subsidier som et tilleggsvirkemiddel til skatten, fordi det er skatten som driver etterspørselen etter renseutstyr, som jeg viser senere i kapitlet.

Selve modellen i Greaker og Pade (2008) bygger på Romer (1990), hvor produksjonen i økonomien blir delt inn i tre forskjellige sektorer. Økonomien jeg ser på er en lukket økonomi, hvor jeg tenker hele verden under ett.

Utslippssektoren:

Dette er sektoren som produserer sluttproduktet, som skal bli solgt til konsumenter i markedet. Produksjon i sektoren gir utslipp av karbondioksidgasser. Min modellen antar at det er et konstant CO₂-utslipp ved vanlig produksjon gitt ved ε_0 . Produsentene reduserer utslippet sitt ved å leie forskjellige typer renseutstyr fra renseutstyrssektoren. De må leie inn flere typer renseteknologier, fordi man antar at én teknologi ikke kan rense alt. Teknologiene har avtagende skalautbytte, dette kan forklares med at hver teknologi har en begrenset anvendelse, en renseteknologi som er effektivt på et kullkraftverk er ikke nødvendigvis like effektivt på alle andre kullkraftverk. Et annet eksempel kan være at ikke all

elektrisitetsproduksjon kan byttes ut med vindkraft, forskjellige teknologier har forskjellige og begrensede anvendelser.

Modellen definerer totalutslippet ε_t slik:

$$\varepsilon_t = \varepsilon^0 - \sum_{i=1}^{N_t} (u_t^i)^\rho \quad \text{hvor } \rho < 1 \quad (1)$$

hvor da u_t^i er mengden rensutstyr i som er leid inn på tidspunkt t , og N_t er totalt antall renseteknologier som er tilgjengelige på tidspunkt t . Uttrykket viser at bedriftene leier inn alle typer renseteknologier som finnes, fordi dette er kostnadsminimerende med tanke på avtagende skalautbytte per idé. ρ er parametere som betegner avtagende skalautbytte til rensutstyret, fordi $\rho < 1$. Det vil si at utslippet er gitt initialutslippet minus all rensingen som skjer i hele sektoren.

Videre setter jeg opp modellen slik som i Greaker og Pade (2008) hvor utslippssektoren må betale en skatterate (τ_t) per enhet av CO₂ de slipper ut, men jeg innfører nå den første typen subsidie. En rensesubsidie (s_t) som gjør leiekostnadene til renseteknologien mindre. Produsentene får en subsidie for hver enhet de leier av utslippsteknologiene, dette er det samme som å få en reduksjon i prisen på leien av teknologiene p_t , det vil si $(p_t^i - s_t)$.

Utslippsektoren ønsker å minimere kostnadene sine, det vil si å minimere leiekostnadene og skattebetalingene. Leiekostnadene øker med hvor mye teknologi de leier inn, og skattekostnadene øker med hvor mye utslipp de har. Minimeringsproblemet blir derfor:

$$\min_{u_t^i} \left[\tau_t \left(\varepsilon^0 - \sum_{i=1}^{N_t} (u_t^i)^\rho \right) + \sum_{i=1}^{N_t} [(p_t^i - s_t) u_t^i] \right] \quad (2)$$

Fra førsteordensbetingelsen til minimeringsproblemet får jeg:

$$p_t^i = \tau_t \rho (u_t^i)^{\rho-1} + s_t \quad (3)$$

som er den inverse etterspørselen. Mens etterspørselen er lik:

$$u_t^i = \left(\frac{\tau_t \rho}{p_t^i - s_t} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (4)$$

Et argument for høyere teknologisk utvikling for sluttproduktsektoren kan man se her, flere renseteknologier som er tilgjengelig (N_t), jo lavere vil kostnadene være for å nå et visst mål på CO₂-beholdningen. Vi kan se dette ut i fra minimeringsproblemet, produsentene leier alltid inn alle typer rensautstyr som finnes. Når man har færre teknologier, trenger man mer av hver enkelt teknologi for å rense en gitt mengde av utslippet, på grunn av avtagende skalaautbytte til teknologiene. Ved høyere N_t kan man fordele rensingen over flere teknologier og bli mindre berørt av skalaautbytte til teknologiene, og derfor leie inn mindre av hver enkelt renseteknologi. Dette vil redusere kostnadene for sluttproduktsektoren.

Renseutstyssektoren:

Renseutstyssektoren karakteriseres ved monopolistisk konkurranse. Den monopolistiske konkurransen kommer av at hver bedrift i denne sektoren kun produserer én type renseteknologi og hver enkelt renseteknologi er unik. Alle bedriftene i sluttproduktsektoren ønsker derfor å leie av hver enkelt bedrift i rensutstyssektoren, men hver bedrift i rensutstyssektoren står ovenfor en avtagende etterspørsel. Renseutstyssektoren maksimerer profitten sin:

$$\max_{u_t^i} \pi_t^i = p_t^i u_t^i - b_t^i u_t^i = \left(\tau_t \rho (u_t^i)^{\rho-1} + s_t \right) u_t^i - b_t^i u_t^i \quad (5)$$

hvor man har satt inn (3) den indirekte etterspørselen fra utslippssektoren. b_t^i er periodekostnaden for å produsere renseteknologien i. Fra førsteordensbetingelsen finner man etterspørselen etter en bestemt renseteknologi på tidspunkt t :

$$u_t^i = \left(\frac{\tau_t \rho^2}{b_t^i - s_t} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (6)$$

Som man kan se er avhengig av blant annet skatt, hvis skatten er lik 0, vil etterspørselen være lik 0, og modellen gir ingen mening. Hvis man setter denne etterspørselen (6) inn i den indirekte etterspørselen (3), vil en finne leieprisen som utslippssektoren må betale:

$$p_t^i = \tau_t \rho \left[\left(\frac{\tau_t \rho^2}{b_t^i - s_t} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \right]^{\rho-1} + s_t = \frac{b_t^i}{\rho} - \frac{(1-\rho)}{\rho} s_t \quad (7)$$

Resultat 1: Ved en rensesubsidie vil monopolistens "mark-up" bli redusert.

Ved tilfellet uten subsidie kan man naturlig nok se at hver produsent ville tatt en høyere pris enn marginalkostnadene sine ($p_t^i = \frac{b_t^i}{\rho}$) som kommer av at de er monopolister og kan sette en ”mark-up”. Med en rensesubsidie kan vi se at prisen blir negativt påvirket av s_t , det vil si at ”mark-upen” blir redusert. Hvis $\rho < 0,5$ så vil det føre til at subsidien får større effekt på prisen, og man får lavere pris. Hvis $\rho > 0,5$ vil subsidien få en mindre effekt. Uansett vil subsidien føre til at ”mark-upen” blir redusert.

Det at en subsidie reduserer monopolistens ”mark-up”, er et interessant resultat. Man skulle kanskje tro at når kjøperen til monopolisten får større inntekt, ville monopolisten ha økt prisen sin for å få solgt samme kvantum til høyere pris. Men i denne modellen møter monopolisten en bratt avtagende etterspørsel på grunn av sterkt avtagende skalautbytte til hver teknologi. Ut ifra etterspørselsfunksjonen kan vi se at etterspørselen blir mer elastisk ved en rensesubsidie. Høyere etterspørselastisitet fører til at monopolisten velger å redusere prisen, noe som betyr at ”mark-up” blir mindre og effektivitetstapet ved en monopolist i markedet avtar. Redusert effektivitetstap eller redusert markedsimperfeksjon er et ønsket resultat. Det vil si at subsidien til sluttproduktsektoren har to effekter. Den fører til at sluttproduktsektoren leier mer av hver type rensesutstyr, og subsidien gir et mindre effektivitetstap i renseteknologisektoren.

Jeg antar, som i Grecker og Pade (2008), at alle renseteknologiene har like kostnader over tid og at de settes lik b . Dette impliserer at all tilgjengelig teknologi vil bli brukt til en hver tid. Den umiddelbare profitten til renseteknologien er:

$$\begin{aligned}
 \pi_t &= \tau_t \rho (u_t^i)^{\rho} + s_t u_t^i - b u_t^i \\
 \pi_t &= \tau_t \rho \left(\left(\frac{\tau_t \rho^2}{b - s_t} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \right)^{\rho} - (b - s_t) \left(\frac{\tau_t \rho^2}{b - s_t} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \\
 \pi_t &= \frac{\tau_t^{\frac{1}{1-\rho}}}{(b - s_t)^{\frac{\rho}{1-\rho}}} \xi \\
 \xi &= \rho^{\frac{1+\rho}{1-\rho}} - \rho^{\frac{2}{1-\rho}}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Man kan se hvordan fremtidsprofitten til renseutstyssektoren avhenger av subsidiene og skatten. Ved sammenligning med modellen uten subsidie så kan vi se at profitten faktisk øker med subsidien. Dette fordi en subsidie reduserer nevneren i profittuttrykket, som betyr at subsidien også har en positiv effekt i renseutstyssektoren fordi de til tross for en lavere utleiepris får høyere profitt, noe som igjen forteller oss at kvantum solgt av hver teknologi må ha økt relativt mye, til tross for avtagende skalaautbytte.

Noe av det viktigste for dynamikken i denne modellen, er verdien på en ny idé fordi verdien av en ny idé forteller om det lønner seg å utvikle en ny teknologi. Man kan vise at verdien på en ny teknologi (η_t) må være den neddiskonterte profitten som bedriften i renseutstyssektoren mottar på ideen:

$$\eta_t = \xi \sum_{t=v}^{\infty} \left[\frac{\tau_t^{\frac{1}{1-\rho}}}{(b-s_t)^{\frac{\rho}{1-\rho}}} \right] (1+r)^{-(t-v)} \quad (9)$$

Resultat 2: Verdien på en idé øker med en rensesubsidie.

I uttrykket (9) er r renta en neddiskonterer med hensyn på, t er tidspunktet vi befinner oss i og v er tidspunktet hvor ideen er funnet opp. Alle ideene blir ikke funnet opp i samme periode, det vil si at neddiskonteringen avhenger av forskjellige tidsperioder. Vi ser at verdien på en idé, endrer seg så fort skatten eller subsidien endrer seg og begge virkemidlene er avhengig av parametere til teknologien. Verdien på en ide får en positiv effekt av begge virkemidlene, øker skatten øker verdien og det samme skjer hvis subsidien øker. Når verdien av ideene øker, vil man anta at flere ideer vil bli produsert.

Forskning og utviklingssektoren (FoU):

FoU er sektoren som utvikler ideer til nye renseteknologier. I modellen er det fri tilgang av forskere til FoU sektoren. Alle forskerne avgjør om de skal gå inn i FoU-sektoren på samme tidspunkt, det vil si at en får et simultant spill blant forskerne, dette har en viktig påvirkning på likevektsbetingelsene til denne sektoren. Modellen antar også at hver forsker utvikler en ny idé i hver periode. Det vil si at totalt antall renseteknologier utvikler seg slik:

$$N_{t+1} = \sum_{t=0}^{\infty} n_t \quad (10)$$

Hvor n_t er antall nye ideer som utvikles i hver periode t . Antall nye renseteknologibedrifter som etableres i hver periode er lik antall nye ideer, fordi hver av bedriftene i renseutstyrsektoren produserer hver sin teknologi.

FoU selger den nye ideen sin til renseteknologibedriftene ved en lisensbetaling lik f_t . Denne lisensen er kostnaden som renseteknologisektoren har. Modellen antar videre at det er en utviklingskostnad for hver idé. Denne kostnaden er:

$$a(N_t, n_t) = \frac{1}{a_0} (N_t)^\alpha n_t^\beta \quad (11)$$

der a_0 er en positiv parameter, og at $-1 < \alpha < 1$. Hvordan kostnadene utvikler seg i forhold til antall ideer som allerede har blitt utviklet avhenger av α . $\alpha < 0$ vil bety at kostnadene avtar med hvor mange ideer som allerede har blitt utviklet, "standing on shoulders". Når $\alpha > 0$ vil kostnadene øke med antall ideer som allerede er utformet, "fishing out". I denne modellen antas det at kostnadene til en idé er økende med hvor mange ideer som allerede har blitt utviklet N_t , også kalt kunnskapseksternalitet. β settes i utgangspunktet lik 1, slik at kostnadene er proporsjonalt avhengig av de nye ideene som blir utviklet.

I en likevekt må lisensen FoU får betalt for ideen være lik kostnadene til ideen. Det vil si at FoU-sektoren ikke driver med profitt eller underskudd. Det vil si at man får:

$$a(N_t, n_t) = f_t \quad (12)$$

Jeg innfører nå den andre subsidien. Forskning og utviklingssektoren kan motta en subsidie for antall nye ideer de utvikler κ_t , dette vil si at de får en ekstra inntekt i tillegg til lisensen:

$$a(N_t, n_t) = f_t + \kappa_t \quad (13)$$

det vil da si at kostnadene skal være lik lisensen de får betalt og subsidiebetalingen fra staten. Dette er en mer direkte subsidie som går rett til forskningen på nye ideer. Lisensen må igjen være lik netto nåverdi av profitten fra ideene, $f_t = \eta_t$. Det vil si at verdien på en idé er lik kostnaden ved produksjon av ideen:

$$\eta_t = \frac{1}{a_0} (N_t)^\alpha n_t^\beta - \kappa_t \quad (14)$$

Dette er en av likevektsbetingelsene i modellen og man bør legge merke til at man setter verdien på ny idé lik gjennomsnittskostnaden til ideene og ikke marginalkostnaden, noe som kommer av at forskerne spiller et simultant spill. Totalkostnaden ville vært $\frac{1}{a_0}(N_t)^\alpha n_t^2$ som ville gitt en marginalkostnad lik $\frac{2}{a_0}(N_t)^\alpha n_t$.

Antall nye ideer i hver periode gitt (14) vil være lik:

$$n_t = \left[(\eta_t + \kappa_t) a_0 N_t^{-\alpha} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (15)$$

Resultat 3: En direkte subsidie til forskning og utvikling vil føre til at flere nye ideer blir utviklet.

Antall nye ideer som blir funnet opp, er positivt avhengig av FoU-subsidien og verdien på nye ideer η_t , som igjen avhenger av subsidiebanen og skattebanen som er i fremtiden.

Totalt antall ideer som finnes på hvert tidspunkt er lik:

$$N_{t+1} = N_t + n_t \quad (16)$$

Det vil si at totalt antall ideer på tidspunkt $t+1$ er lik totalt antall ideer som var funnet opp i forrige periode t pluss antall nye ideer som ble funnet opp i forrige periode t .

Forurensingen:

Man setter et mål på hvor liten beholdning av klimagasser i atmosfæren man ønsker. Staten setter subsidie- og skattebanen for å stabilisere beholdningen. Mengden av CO₂ i atmosfæren på tidspunkt t er θ_t , utslippet på tidspunkt t derimot er ε_t , dette gir derfor en sterkt forenklet beholdning av CO₂ på tidspunkt $t+1$ lik:

$$\theta_{t+1} = \varepsilon_t - \Phi \theta_t \quad (17)$$

der Φ er andelen av beholdningen av klimagasser som naturlig fjernes fra atmosfæren.

Løsning av modellen:

Hittil er grunnlaget i modellen satt opp med subsidier og skatt for hver enkelt sektor. Man løser hele modellen ved å løse et minimeringsproblem av kostnadene til hele økonomien

under ett. Når staten skal sette subsidie- og skattebanen minimerer de kostnadene i hver periode. Neddiskontert sum av FoU-kostnadene og kostnadene til rensetstysproduksjonen må være lik den neddiskonterte summen av totalerenseutgifter som utslippssektoren har, minus den profitten man tjener på initialideene N_0 :

$$\sum_{t=0}^{\infty} (n_t a(n_t, N_t) + N_t b u_t^i) (1+r)^{-t} = \sum_{t=0}^{\infty} \left(N_t \left(\frac{b}{\rho} - s_t \frac{(1-\rho)}{\rho} \right) u_t - N_0 \pi_t \right) (1+r)^{-t} \quad (18)$$

Disse to summene av kostnadene er like fordi de kostnadene sluttproduktsektoren har, avspeiler de kostnadene som er tidligere i produksjonsprosessen av en renseteknologi.

Minimeringsproblemet blir derfor summen av kostnadene ved produksjon og kan settes opp slik:

$$\min_{s_t} \sum_{t=0}^{\infty} (n_t a(n_t, N_t) + N_t b u_t^i) \quad (19)$$

Det første uttrykket er som nevnt kostnadene som man har ved forskning og utvikling, og det andre uttrykket er total produksjonskostnad til renseteknologisektoren. I kostnadsminimeringen kan man se at skattebetalingene og subsidiebetalingene til aktørene i modellen ikke er tatt med. Dette er fordi skattebetalingene og subsidiebetalingene kan ses på som omfordeling av midler i økonomien, og dermed ingen direkte kostnad. Men det skal påpekes at jeg i min modell antar at myndighetene har ubegrensede midler som de kan bruke på subsidiebetalingene. Jeg trenger derfor ikke å ta med disse betalingene i den totale kostnadsminimeringen i modellen.

Dette minimeringsproblemet må løses med hensyn på betingelsene:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \varepsilon_t - \Phi \theta_t \quad (20)$$

$$N_{t+1} = N_t + n_t \quad (21)$$

$$\theta_t \leq \bar{\theta} \quad (22)$$

Den første betingelsen er for hvor stor beholdningen av CO_2 vi har i atmosfæren. Den andre betingelsen er hvor mange ideer man har totalt, og den siste betingelsen er at beholdningen av CO_2 i atmosfæren skal være mindre enn eller lik beholdningsmålet. Jeg velger å løse

modellen numerisk, og når jeg setter opp modellen, neddiskonterer jeg kostnadene og verdien av en idé for å kunne finne nåverdien av den totale kostnaden til klimapolitikken.

6. Resultater

Jeg har valgt å løse modellen ved hjelp av excel sin problemløser som kan løse dynamiske optimeringsproblemer. Jeg minimerer med hensyn på de neddiskonterte kostnadene, gitt at CO₂-beholdningen ikke skal overstige et beholdningsmål, og at skatter og avgifter skal være positive. Før jeg kan løse modellen gir jeg alle de faste parametrene en verdi. Parameterne som omhandler utslippet og beholdningen av CO₂ i atmosfæren, har jeg gitt verdier som gjør at utslippsutviklingen uten noen virkemidler blir slik IPCC antar. IPCC antar at beholdningen av CO₂ i atmosfæren er rundt 380 ppm. i 2005 og at beholdningen av klimagasser vil ligge rundt 1000 ppm. CO_{2e} i år 2100 (IPCC 2007), hvis man ikke gjør noe for å redusere utslippet. Jeg ser kun på beholdningen av CO₂ i min modell og ikke beholdningen av klimagasser generelt, derfor bruker jeg heretter måleenheten ppm. og ikke ppm. CO_{2e}. For at min modell skal få en tilsvarende utvikling, setter jeg den initiale beholdningen lik 380 ppm., den naturlige rensingen til 1 % og at initialutslippet i hver periode er på 38 ppm. Dette gir meg da en utslippsbane som når en beholdning på 1003 ppm. i 2100, som er slik IPCC antar. IPCC har kommet frem til at man bør prøve å stabilisere beholdningen av klimagasser i atmosfæren rundt 535-590 ppm. CO_{2e}. Jeg velger å sette beholdningsmålet for CO₂ i atmosfæren til 550 ppm. Dette vil si at modellen ser etter en løsning hvor beholdningen av CO₂ i atmosfæren aldri overstiger 550 ppm., som igjen vil si at modellen ikke tillater "overshooting". "Overshooting" kan inntreffe ved klimapolitikk der hvor man sier at beholdningsmålet først skal nås ved et tidspunkt i fremtiden, for eksempel at i 2050 skal beholdningen av CO₂ være på 550 ppm. Før dette tidspunktet kan beholdningen være på hvilke som helst nivå og man vil i mange tilfeller se at beholdningen overstiger 550 ppm før år 2050 inntreffer. Dette er "overshooting". Hvis jeg prøver å kjøre min modell med denne typen klimapolitikk, vil modellen resultere i en høy "overshooting"-effekt i perioder før man når beholdningstidspunktet, og deretter en drastisk avtagning i utslippet rett før dette tidspunktet. Den kraftige avtagningen finner jeg lite troverdig at kan skje i virkeligheten. Derfor velger jeg å kjøre en klimapolitikk som sier at beholdningen aldri kan overstige 550 ppm.

Videre har jeg satt verdier til parametrene som omhandler renseteknologien og økonomien. Som et utgangspunkt har jeg satt $\rho=0,2$ som betyr at skalautbyttet til en teknologi er sterkt avtagende. Jeg har satt at produksjonskostnaden for en renseteknologi (b) er lik 5 dollar. I kostnadsfunksjonen til FoU er koeffisientene a_0 satt til 10 dollar, β er 1 og α er 0,25 i

førsteomgang. $\alpha=0,25$ betyr "fishing out" siden $\alpha>0$. Jeg antar i førsteomgang at man ikke har noen initiale ideer og at den årlige renten er på 4 %. Dette gir meg et utgangspunkt for å løse modellen.

I min modell er velferdsfunksjonen den totale kostnaden ved produksjonen. Tallet for den totale kostnaden har jeg ikke gitt noen benevnning, jeg vil kun bruke tallet som et sammenligningsgrunnlag når jeg tar for meg de forskjellige virkemidlene, men jeg legger ingen vekt på hvor realistisk dette tallet er. Hvis jeg skulle ha sammenlignet med virkeligheten, burde den totale kostnaden ved virkemidlene ha ligget rundt 1 % av verdens BNP.

Greaker og Pade (2008) ser på hvordan forskjellig teknologiutvikling påvirker skattebanen, hvordan skatten skal settes ut i fra om man har en eksogent gitt teknologiutvikling eller en endogen teknologiutvikling. I min modell her har jeg kun sett på en endogen teknologiutvikling og det er heller ingen grunn til å se på en eksogent gitt teknologiutvikling siden det er regler for bruken av virkemidlene jeg er ute etter.

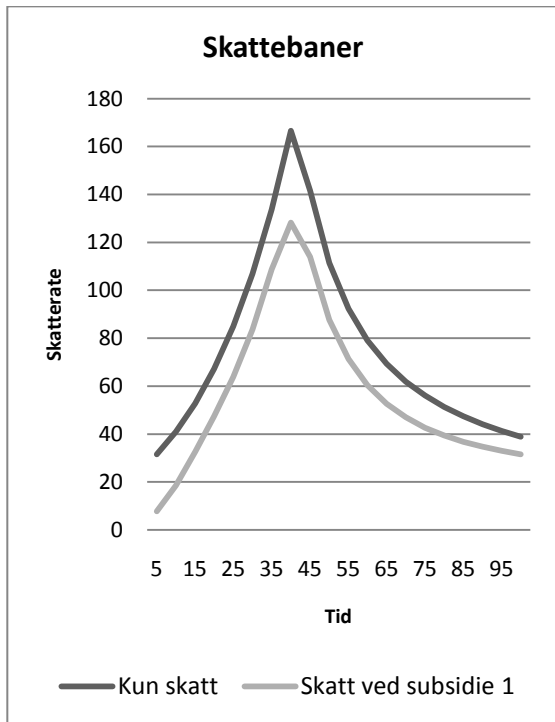
6.1.1 Skatt

Det første virkemiddelet jeg tar for meg er skatt. Denne skatten blir som forklart tidligere satt på utslippet som bedriftene har. Selve skattebanen blir satt etter hvordan man skal oppnå beholdningsmålet for CO₂ i atmosfæren og optimal teknologisk vekst til lavest mulig kostnad.

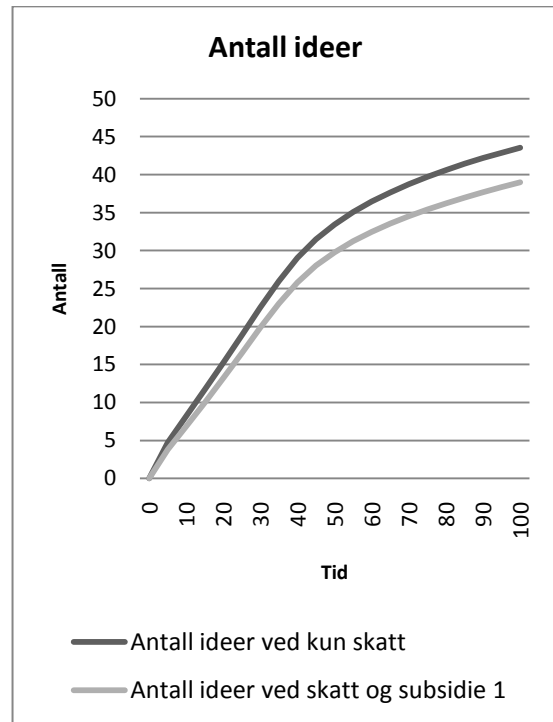
Den optimale skattebanen utvikler seg slik som i figur 1. Den stiger jevnt frem til år 40, da når den sin maksimumsskatterate som er rundt 166 dollar, deretter kan vi se at banen avtar. Den initiale skatteraten er på 31,5 dollar og i 2050 er raten på 111,4 dollar som stemmer bra overens med hva tidligere studier har kommet frem til fra tabell 1. Skatteraten avtar fordi utslippet av CO₂ har gått kraftig ned de første 45 årene, som vi kan se av figur 3. Denne nedgangen på årlig utslipp som modellen beregner er fra 38 ppm. til 5,5 ppm. på 45 år. At man på kun 45 år skal få en så stor nedgang i årlig utslipp, er litt lite realistisk.

En av grunnene til at min modell beregner en så kraftig reduksjon i periodeutslippet er at modellen ikke har med tregheter i markedet slik som irreversible kostnader ("sunk cost"). Verden over har man investert store summer i kull og oljeindustri, disse investeringene er i stor grad "sunk cost". Hvis man skal redusere utslippet slik modellen antar, betyr det at

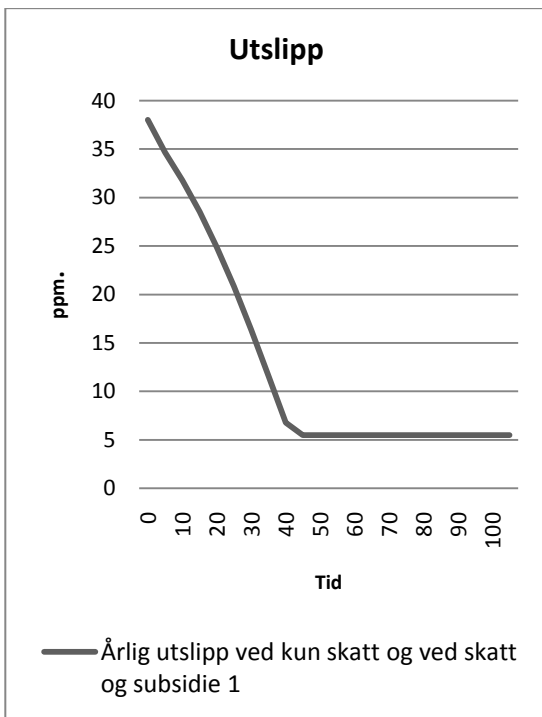
denne industrien må reduseres kraftig. Det kan bety at mange kull og gasskraftverk må legge ned produksjonen sin, noe som igjen betyr store tap. Det er derfor lite trolig at man vil se en



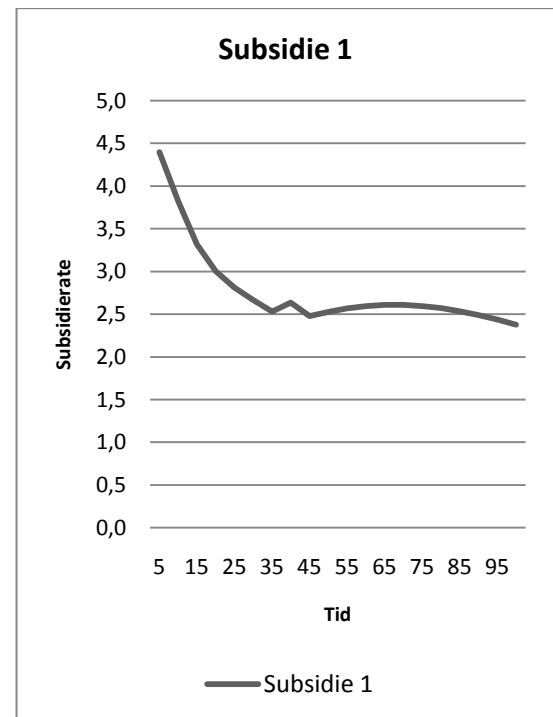
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

så kraftig reduksjon i utslippet som det denne løsningen av modellen antar. Dette er en svakhet ved modellen. Modellen beregner også at det til sammen blir utviklet 31 teknologier de første 45 årene. For sammenligningsskyld nevner jeg at totalkostnaden i denne modellen er på hele 1 356,71.

6.1.2 Skatt og subsidie til rensing

Videre er jeg interessert i å se hvordan løsningen av modellen blir når jeg tillater at myndighetene i tillegg til å skattelegge utslippet kan gi en subsidie til rensingen av CO₂ (subsidie 1). De optimale utviklingsbanene for subsidie og skatt blir for denne modellen slik figur 1 og 4 viser.

Subsidiebanen starter på en rate rundt 4,4 dollar og er for det meste avtagende, men stabiliserer seg rundt et nivå på 2,5 dollar etter år 25. Prisen uten subsidie ville vært 25 dollar, det betyr at man i starten skal få en subsidiering på nesten 18 prosent av prisen, mens subsidien stabiliserer seg over tid på 1 prosent av prisen. Vi kan se av figur 1 at vi nå får en lavere skattebane enn hva vi fikk i tilfellet uten subsidie. Subsidien gir en lavere pris på renseutstyret, det vil si at for å oppnå samme etterspørsel etter renseutstyr som tidligere, kan myndighetene sette en lavere skatt. Det vil ikke være en optimal løsning hvis myndighetene setter en like høy skatt som tidligere ved siden av subsidien. Det vil ha blitt en for stor bruk av virkemidler i forhold til hva som er effektivt. Den maksimale skatteraten ved denne løsningen er på 128,2 dollar i år 40, mens utslippsbanen er den samme som ved kun skatt.

Utviklingsbanen til antall ideer i de to modellene er forskjellig. I denne løsningen blir det utviklet færre ideer enn det som ble gjort i modellen med kun skatt som virkemiddel, som vi kan se ut i fra figur 2. Hovedårsaken er at ved subsidie, vil bedriftene leie mer av hver enkelt teknologi som blir laget, på grunn av lavere "mark-up" og lavere dødvektstap i modellen. Vi får en mer effektiv modell med produksjon av færre ideer. Dette er bevis på at virkemidlet subsidier ikke nødvendigvis betyr at flere ideer vil bli utviklet. Etter 45 år har det her blitt utviklet 28 ideer i motsetning til 31 ideer ved kun skatt, som indikerer "stepping on toes"-effekt ved kun skatt siden for mange ideer blir utviklet i det tilfellet.

Til sammenligning er nå den totale kostnaden ved subsidie på 1 271,41. Det vil si at den totale kostnaden har sunket ved bruk av en subsidie til rensing. Dette betyr at økonomien kan tjene på at myndighetene benytter seg av subsidier til rensing i tillegg til utslippsskatten så lenge de setter virkemidlene optimalt.

6.1.3 Skatt og subsidie direkte til forskning

Den tredje typen klimapolitikk som myndighetene kan velge, er å gi en direkte subsidie til forskningen (subsidie 2) i tillegg til utslippsskatten. Min modells løsning av denne typen klimapolitikk viser seg å bli helt lik løsningen ved kun skatt. Modellen viser at det ikke lønner seg å subsidiere noe direkte til forskning. Grunnen er at kostnadene ved å produsere nye ideer øker med antall ideer som blir utviklet ”fishing out”. Det vil si at når man subsidierer idéutviklingen i en periode, vil det hjelpe på akkurat den perioden, men subsidien har gjort det dyrere å utvikle nye ideer i all fremtid. Det vil også være ekstra kostbart med høy idéutvikling i tidlige perioder i forhold til senere i modellen på grunn av neddiskonteringen av kostnadene. Derfor er det ikke lønnsomt å subsidiere direkte til forskningen i denne modellen. I denne klimapolitikken påvirker skatten all fremtidsinntekt, mens denne direkte subsidien kun påvirker forskningsinntekten i den enkelte perioden.

En fjerde klimapolitikk som myndighetene kan benytte, er å bruke alle tre virkemidlene. Det å skulle sette skatt og to typer subsidier på samme tid vil si at det fort kan skje feil, når man prøver å utvikle de forskjellige banene. I min modell der hvor myndighetene har tilgang til alle tre virkemidlene, gir løsningen blant annet en positiv direkte subsidie til forskning. Men forskningssubsidien ser det ut som at blir satt på bekostning av rensesubsidien, fordi av alle utviklingsbanene er det kun rensesubsidiebanen som endrer seg ved denne direkte subsidien, og rensesubsidien ender på et lavere nivå enn hva den var før. Den totale kostnaden er marginalt forskjellig fra tilfellet med kun rensesubsidien, den er nå på 1 271,65, velger jeg å ikke se nærmere på denne løsningen, jeg tror også at min modell er noe svak når den skal løse for alle virkemidlene på en gang.

6.1.4 “Standing on shoulders”

Jeg har hittil antatt produksjonskostnader som øker med hvor mange ideer som har blitt utviklet, ”fishing out”. Men som forklart tidligere er ikke alle kostnadsfunksjoner av denne typen, og jeg vil nå se nærmere på hvordan virkemidlene skal settes hvis kostnadene avtar med hvor mange ideer som allerede har blitt utviklet, ”standing on shoulders”. Den totale kostnaden vil naturligvis bli betydelig lavere i dette tilfellet av modellen enn hva jeg har vist tidligere, fordi blant annet kostnadene ved å utvikle nye ideer avtar. For å få rimeligere sammenligninger av totalkostnaden setter jeg nå a_0 til å være 20 i stedet for 10 som den er ved ”fishing out”.

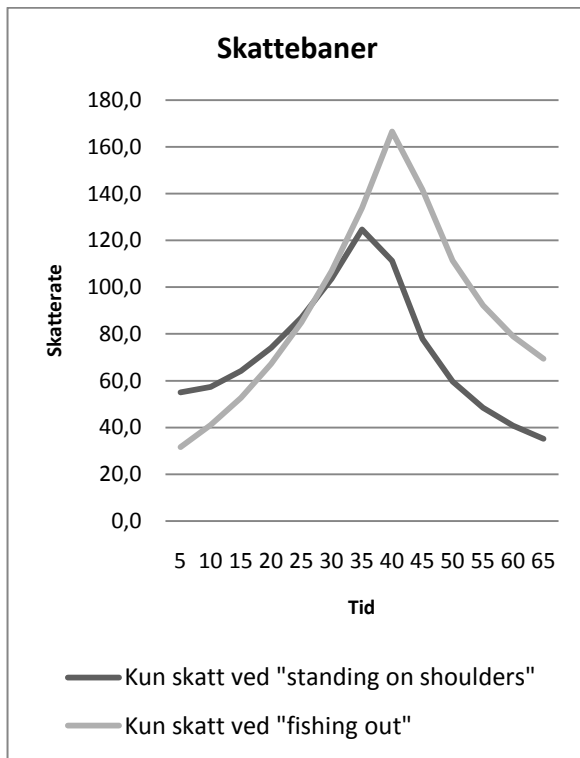
”Standing on shoulders” versus ”fishing out” ved kun skatt

Det at man lærer av hva som er gjort tidlig i utviklingsprosessen av teknologier gir insentiver til myndighetene om å sette en høy skatt tidlig for å få i gang utviklingen av nye rensalternativer. Som vi kan se av figur 9, er dette også tilfellet i min løsning. Skatten er høyere i de første periodene enn ved ”fishing out”. Men skattebanen har en slakkere helning i ”standing on shoulders”-tilfellet, og når sin maksimumsverdi tidligere (år 35 og rate 124,7 dollar). Skatteraten er gjennomsnittlig lavere i ”standing on shoulders” tilfellet enn ved ”fishing out”. Denne skattebanen signaliserer at myndighetene ønsker å få i gang utviklingen av ideer i de første periodene, derav høy skatt, men når først noen ideer har blitt produsert, er en videreutvikling av nye renseteknologier mindre kostbart, og utviklingen driver seg selv, derav lavere skatt i senere perioder.

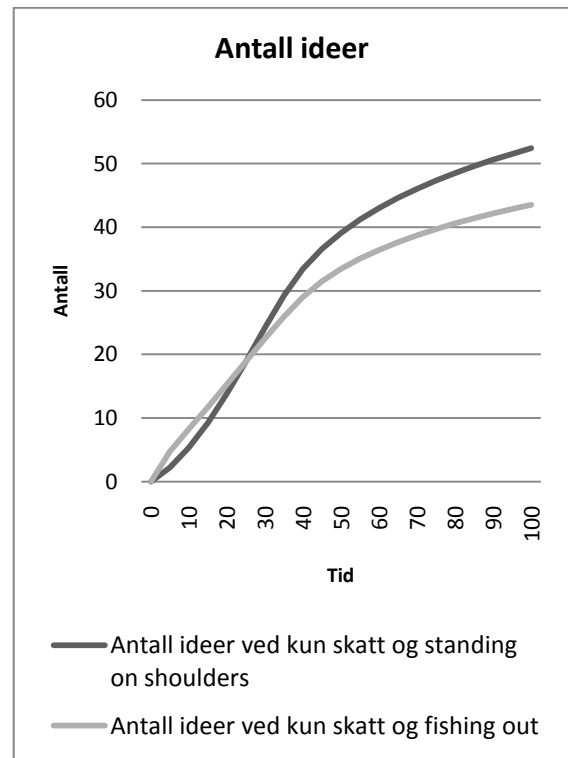
Figur 10 viser utviklingsbanene til antall ideer, denne banen er noe overraskende. Til tross for høyere skatter er antall ideer som blir utviklet i de første periodene lavere enn løsning ved ”fishing out”. Dette kommer av at det i ”fishing out”-tilfellet er mindre kostbart å utvikle nye teknologier i tidligste periodene, når man ikke har noen ideer fra før. For ”standing on shoulders” er det mer kostbart å utvikle nye teknologier i starten når man ikke har noen teknologier å gå ut ifra. Jeg økte a_0 i denne versjonen av modellen, som også vil føre til lavere produksjon siden det blir generelt dyrere å produsere nye ideer. Selv om skatten er høy, er også produksjonskostnaden høy, det vil si at man får mindre insentiver fra skatten. Vi kan se av kurvene at stigningen til antall nye ideer er brattest for ”standing on shoulders”, fordi når produksjonen av ideer først har startet, er utviklingen mindre kostbar og flere ideer blir utviklet. Derav kan skatten avta. Mens for ”fishing out”-tilfellet som jeg diskuterte over, er utviklingen av antall nye ideer over tid lavere, som igjen forklarer at skattebanen i ”fishing out”-tilfellet er høyere over senere tidspunkt når det ikke lenger er så lønnsomt for produsentene med slike kostnadsfunksjoner å utvikle nye ideer. Med ”standing on shoulders” vil det i løpet av 45 år bli utviklet totalt 36,6 ideer, et antall som er betydelig høyere enn hva jeg har kommet frem til i tidligere løsninger.

Utslippsbanen har en naturlig sammenheng med hvor mange ideer som har blitt oppfunnet, slik en kan se av figur 11. Utslippet er høyest i de første periodene ved ”standing on shoulders”, rundt år 25 er utslippet likt mellom de to forskjellige kostnadsfunksjonene. Etter dette krysningspunktet er utslippet til ”standing on shoulders”-tilfellet lavere, og man stabiliserer utslippet tidligere. Vi ser sammenhengen mellom utslipp og antall ideer, siden

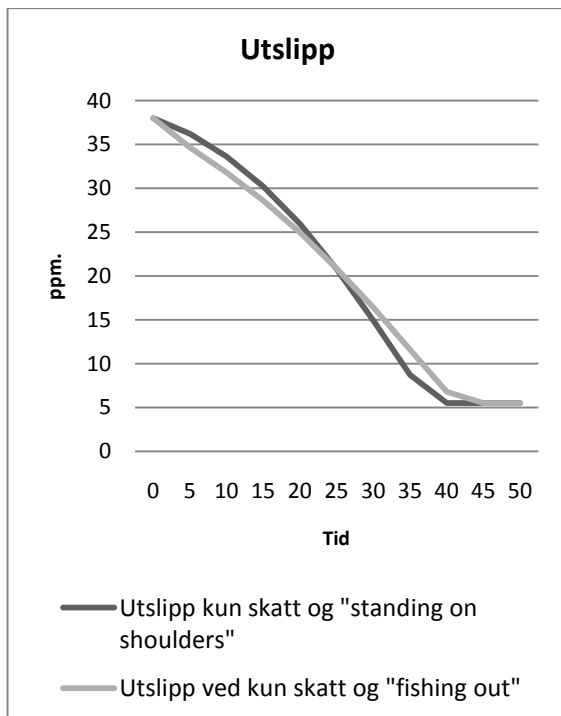
det også rundt år 25 blir utviklet like mange ideer, mens på senere tidspunkt blir det utviklet flere ideer i ”standing on shoulders”-tilfellet.



Figur 9



Figur 10



Figur 11

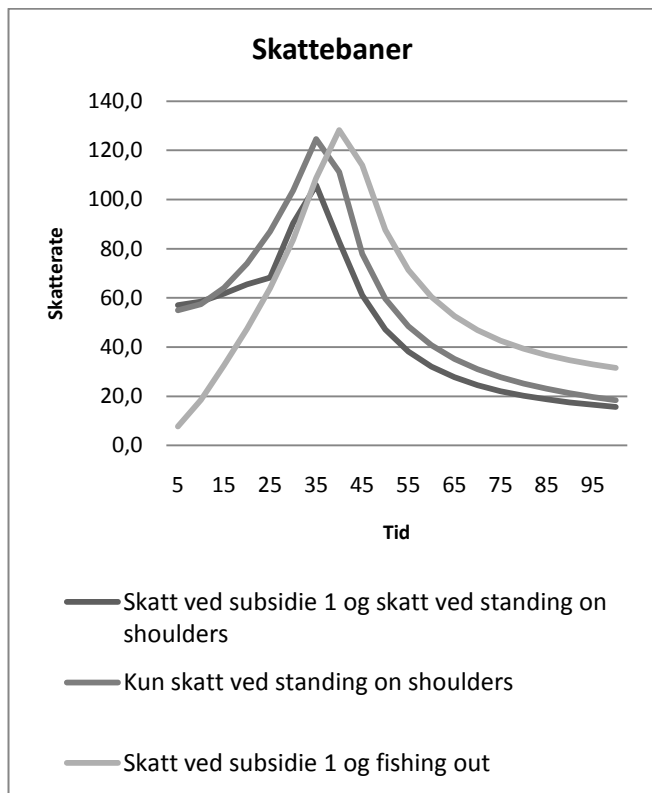
Forskjellen mellom de to forskjellige kostnadsfunksjonene kommer av hvordan antall ideer utvikler seg, alt annet skjer i forbindelse med dette. Man setter skatten høyere i de første periodene ved "standing on shoulders"-kostnader for å sparke i gang utviklingen, men når utviklingen først har satt i gang, driver den seg selv. Den totale kostnaden ved "standing on shoulders" er på 1 057,34 som er betydelig lavere enn tidligere løsninger til tross for at jeg har satt at a_0 er lik 20.

Rensesubsidie ved "standing on shoulders"

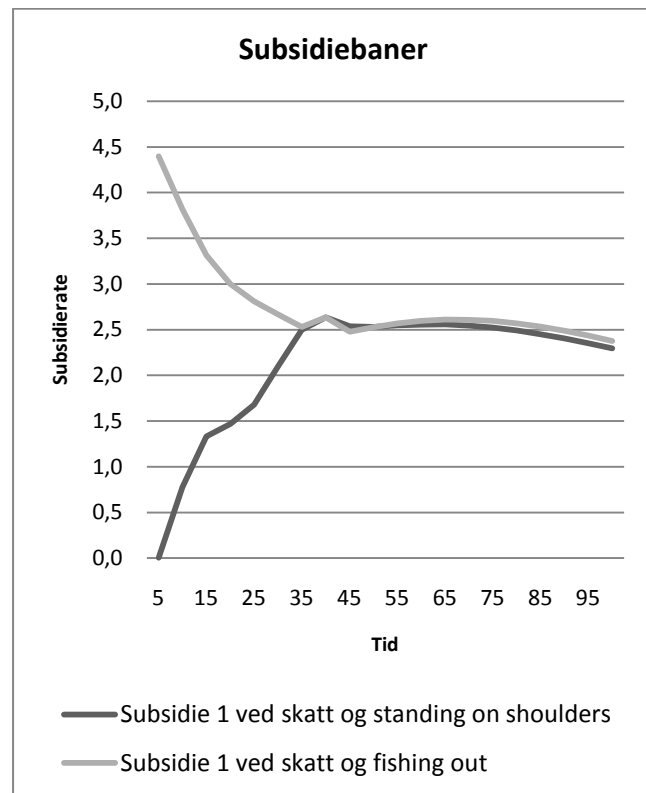
Hvis modellen fortsetter med kostnadstypen "standing on shoulders" og myndighetene kan bruke en klimapolitikk som inneholder skatt og en rensesubsidie, vil jeg få utviklingsbanene som vist i figur 12-15. Den helt klare forskjellen mellom løsningene av "standing on shoulders" og "fishing out" ved denne typen klimapolitikk er hvordan subsidiebanen blir satt. Ved "standing on shoulders" starter subsidieraten ved 0 og øker før den stabiliserer seg på et nivå rundt 2,5 dollar, mens den ved "fishing out" startet rundt 4,4 dollar og avtar frem til 2,5 dollar over tid. Det er helt klare motsetninger i de første periodene. Grunnen til at subsidiebanen starter på 0 i "standing on shoulders"-tilfellet er fordi skattebanen starter høyt.

Skattebanen ved de forskjellige "standing on shoulders"-løsningene starter omtrent likt og er like i de første 15 årene, det vil si når subsidien er så godt som 0. Deretter ligger skattebanen fra tilfellet med subsidie under de andre skattebanene hele veien, noe som igjen kommer av at myndighetene bruker virkemidlet subsidie. Den maksimale skatteraten er på 105,9 dollar i år 35.

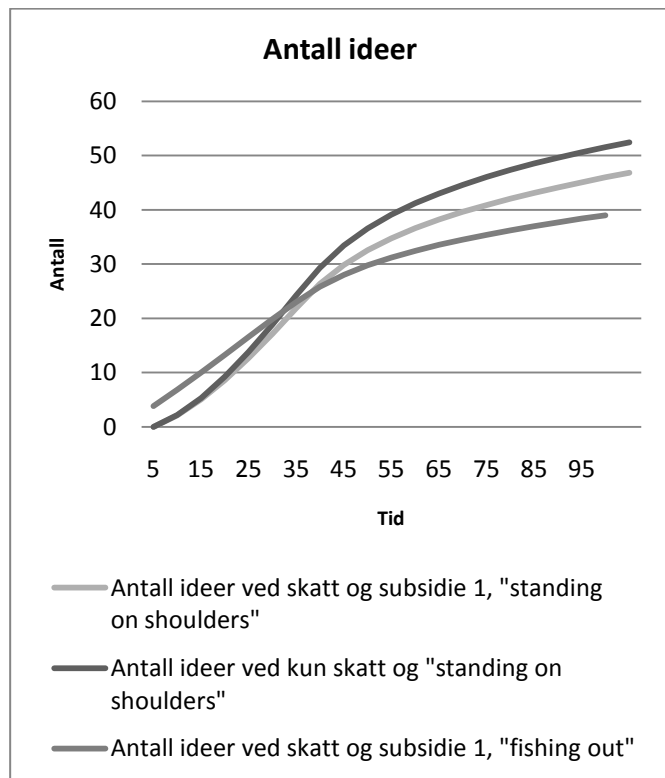
Antall ideer har den samme utviklingsstarten som ved tilfellet ved kun skatt, men etter hvert blir det utviklet færre ideer enn hva vi så ved kun skatt som virkemiddel. Det viser seg at også ved "standing on shoulders", blir det utviklet for mange ideer når myndighetene bruker en klimapolitikk som kun inneholder skatt. Subsidien er nok en gang med på å redusere dødvektstapet som man har med en monopolist i økonomien. Ut i fra figur 14 ser man at det i år 45 er produsert 32,5 ideer i motsetning til 36,6 fra tidligere. Utslipet er det samme som ved kun skatt derav kun to grafer i figur 15, og den totale kostnaden er nå på 1 019,69. Det vil si at løsningen ved subsidie nok en gang reduserer den totale kostnaden til samfunnet.



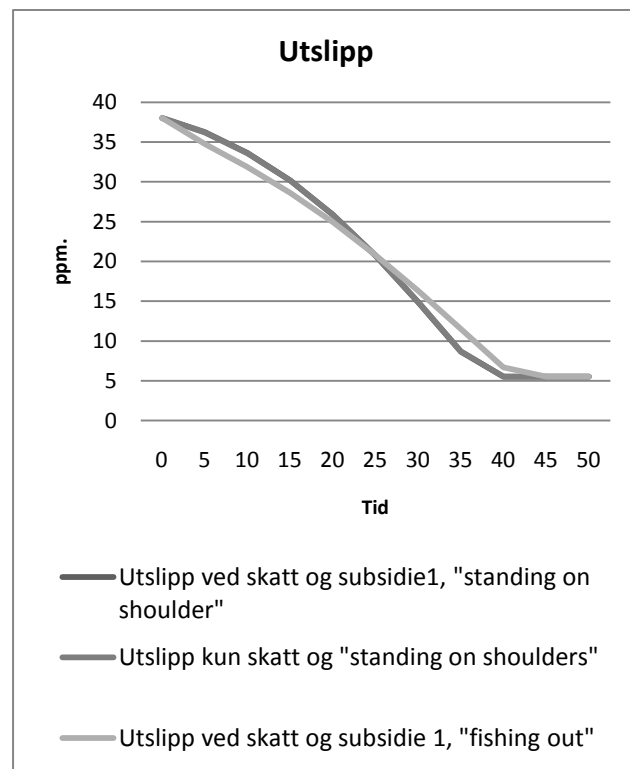
Figur 12



Figur 13



Figur 14



Figur 15

Forskningssubsidien under "standing on shoulders"

Selv ved en kostnadsfunksjon av typen "standing on shoulders", vil det ikke bli subsidiert noe direkte til forskningen i min modell. Løsningen blir akkurat slik den er ved kun skatt som virkemiddel. Dette er noe overraskende siden man vil ha flest mulig nye oppfinnelser i de første periodene, og man skulle tro at det ville ha lønnet seg å subsidiere forskningen direkte de første årene. Men ved subsidier direkte til forskning, kan man fortere stå ovenfor en "stepping on toes"-effekt hvor for mange allokterer seg i FoU-sektoren, denne eventuelle trengselseffekten vil føre til ineffektivitet i modellen. Vi kan se at skatten settes veldig høyt i de første periodene, og fra den forrige løsningen så jeg at subsidien virket i retning av at man brukte mer av den teknologien man allerede har. Her vil utviklingen av ideer drive seg selv så fort man er i gang, noe en høy skatt får til. Derav er det ikke lønnsomt eller nødvendig med noe subsidie direkte til forskningen.

6.1.5 Sammendrag av resultatene

Ut ifra de resultatene min modell har gitt, lønner det seg for myndighetene å benytte seg av en subsidie til rensing. Denne subsidien er med på å redusere "mark-up" som monopolisten i markedet har, noe som gjør at man bruker mer av de ideene som allerede har blitt utviklet. Dette reduserer også antall ideer som blir utviklet. Man kan si at ved kun skatt som virkemiddel, blir det utviklet for mange ideer over tid enn hva som er optimalt. En direkte subsidie til forskning er ikke lønnsomt uansett hva slags kostnadsfunksjon man har. Dette er fordi at en subsidie direkte til forskning kun vil føre til at enda flere ideer blir utviklet, og ikke at de ideene vi allerede har utviklet blir brukt optimalt, derav mer dødvektstap. Det viser seg at man bør bruke subsidier kun for å redusere "mark-up" som renseteknologisektoren påfører økonomien. Hvordan man skal sette subsidiebanen er avhengig av hvordan kostnadsfunksjoner man har i den forskningssektoren man ønsker å subsidiere.

6.2 Svakheter ved modellen

Som alle andre modeller er ikke min modell noe kopi av virkeligheten. Denne modellen har også sine svakheter. Jeg vil nå diskutere noen av disse. Jeg har nevnt tidligere i oppgaven i forbindelse med den kraftige reduksjonen av årlig utslipp at modellen ikke tar hensyn til "sunk cost". En annen svakhet ved modellen er kostnadsfunksjonene. Disse funksjonene har

jeg formet ved å sette forskjellige parameterverdier, men i virkeligheten kan uttrykkene være veldig annerledes og forskjellig mellom forskningsinstitusjonene, og dermed føre til at det blir vanskelig å sette felles virkemiddelbaner. Et eksempel er at produksjonskostnaden til renseteknologien ikke trenger å være lineær, eller at marginalkostnaden er konstant i virkeligheten, dette er en forenkling gjort i modellen. Hvis det ikke var konstante marginalkostnader, ville det selvfølgelig hatt en påvirkning på løsningen av modellen.

Jeg antar også at myndighetene har ubegrensede midler til subsidiering. Ingen har i virkeligheten ubegrensede midler og subsidiebetalingene må finansieres. Den vanligste finansieringen er skattebetalinger fra aktørene i økonomien. Dette er en ekstra begrensning som min modell ikke tar med.

Det antas også at myndighetene har full informasjon om hele økonomien og over klimaet, noe som er lite trolig i virkeligheten. Myndighetene mangler i virkeligheten informasjon rundt produksjonskostnadene til produsentene og forskerne, ikke minst utslippet til de forskjellige produksjonsteknologiene og hvilken skade utslippet gir. Mangel på full informasjon trenger ikke kun å gjelde myndighetene og produsentene. Spesielt forskerne vet ikke hvor dyre noen teknologier de arbeider med vil være før de er ferdigutviklet. I tillegg finnes problemet med patentbeskyttelse, om produsenten av en teknologi blir en monopolist eller ikke, dette kommer jeg nærmere inn på i neste kapittel.

I min modell driver forskerne et simultant spill, det vil si at alle bestemmer på likt om de skal gå inn i forskningssektoren eller ikke. I virkeligheten fungerer det ikke slik, forskerne prøver seg mer gradvis frem slik at man til å begynne med kun har noen få forskere og flere forskere kommer til sektoren hvis de ser at det er lønnsomt.

Min modell er igjen kun en tilnærming til virkeligheten, og en modell som skal gjøre det mulig å sammenligne de forskjellige virkemidlene i klimapolitikken til myndighetene, og se på hvordan myndighetene kan påvirke den teknologiske utviklingen.

7. Patenter

7.1 Modellen uten perfekt patentbeskyttelse

Min modell antar hittil perfekt patentbeskyttelse, det vil si at en idé blir beskyttet av en patent i all evighet. Derfor er det kun en bedrift som kan produsere en renseteknologi og som forklart tidligere, gir dette monopolmakt. Antagelsen om perfekt patentbeskyttelse kommer av at de bedriftene som har en patentbeskyttet teknologi ofte blir ledende bedrifter innen sin type teknologi, og de greier hele tiden å oppdatere sine patenter og å beholde markedsmakten. I virkeligheten vil en teknologi kun bli beskyttet av patent i en viss tidsperiode.

For å gjøre modellen mer realistisk, innfører jeg nå ikke perfekt patentbeskyttelse, det vil si at noen ideer blir beskyttet av patent, mens andre ideer ikke blir beskyttet. Kostnaden ved å kopiere en idé er gratis. Det vil si at noen av ideene kan bli produsert av flere produsenter på samme tidspunkt. Det betyr at produsentene av den ikke-patentbeskyttede ideen ikke er monopolister og at denne produsenten ikke lenger kan prise en ”mark-up”, slik at prisen blir nå lik marginalkostnadene på disse teknologiene. Det vil si at vi nå får to former for teknologier, de som er beskyttet av patent og de som ikke er beskyttet av patent. Dette gir noen endringer i modellen min.

Sannsynligheten for at en idé mister sin patent i en periode er χ . Det vil si at verdien av en idé blir nå:

$$\eta_t = \xi \sum_{t=v}^{\infty} \left[\frac{\tau_t^{\frac{1}{1-\rho}}}{(b - s_t)^{\frac{\rho}{1-\rho}}} \right] (1 + r + \chi)^{-(t-v)} \quad (23)$$

Hvor nå $(r+\chi)$ er den nye diskonteringsraten for fremtidig profitt, som er gitt sannsynligheten for at teknologien ikke lenger mister sin patent. Det vil si at diskonteringsraten øker, den fremtidige inntekten av en idé blir dermed mindre verdt enn tidligere, det vil si at verdien av en idé synker. Antall ideer som ikke blir beskyttet av patenter er M_t , mens antall ideer som fortsatt blir beskyttet av patenter er N_t :

$$m_{t+1} = \chi N_{t+1} \quad (24)$$

$$M_{t+1} = M_t + m_t \quad (25)$$

$$N_{t+1} = N_t + n_t - m_t \quad (26)$$

der m_t er antall nye ideer som ikke blir beskyttet av patenter. Nå vil den dynamiske læringseffekten være avhengig av $N_t + M_t$ og ikke bare N_t som tidligere. Vi har nå to forskjellige markeder, et marked hvor prisen er høyere enn marginal kostnaden og et marked der prisen er lik marginalkostnaden. Tilbudet av rensesutstyret som ikke blir beskyttet av patenter er lik z^j . Det vil si at utslippet i modellen er nå gitt ved:

$$\varepsilon_t = \varepsilon^0 - \sum_{i=1}^{N_t} (u_t^i)^\rho + \sum_{i=1}^{M_t} (z_t^j)^\rho \quad (27)$$

Som tidligere antar vi at marginalkostnaden er lik for alle, det vil si b , vi har fortsatt at $p_t^i = \frac{b}{\rho}$. Vi kan lett løse modellen for z_t^j . Minimeringsproblemet som jeg velger å løse numerisk vil nå være:

$$\min_{s_t} \sum_{t=0}^{\infty} (n_t a(n_t, N_t + M_t) + N_t b u_t^i + M_t b z_t^j) \quad (28)$$

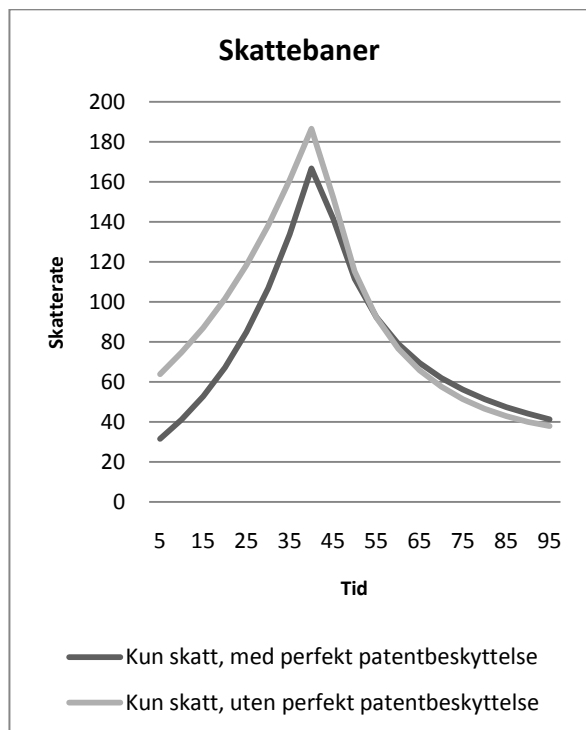
Det vil si at minimeringsproblemet også er avhengig av M_t . Det første leddet i minimeringsproblemet er fortsatt kostnaden ved FoU, det andre leddet er produksjonskostnaden til en idé med patent i renseseteknologisektoren, det tredje leddet er produksjonskostnaden til ideene uten patent i renseseteknologisektoren. Minimeringsproblemet må løses med hensyn på betingelsene (20), (22), (24) og (26).

For å kunne løse det nye minimeringsproblemet antar jeg at det kun er 2,5 % sannsynlighet for at en idé mister sin patent i en periode. De andre parametrene i modellen gir jeg samme verdi som under "fishing out"-kjøringene. Excel fikk problemer med å løse modellen for like mange perioder som jeg har løst for tidligere, derfor valgte jeg å kutte ned fra 200 år til 100 år når jeg løste modellen uten perfekt patentbeskyttelse.

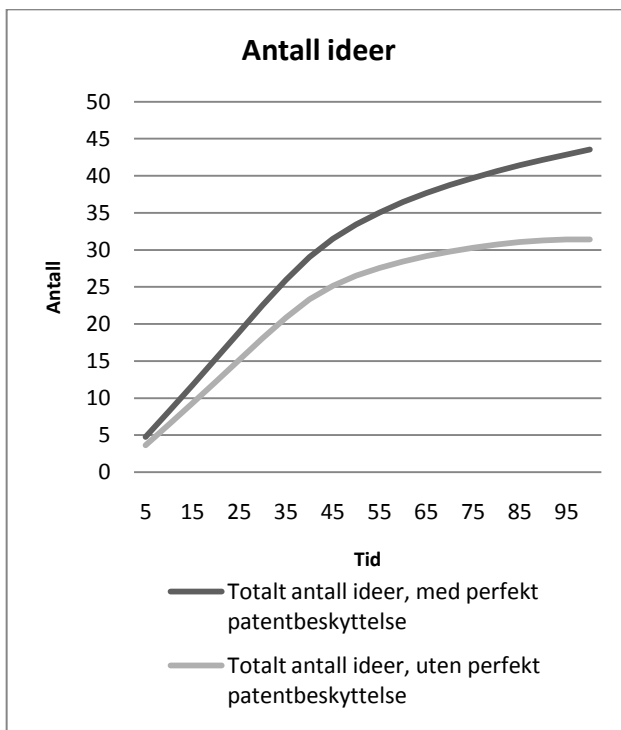
7.1.1 Resultater

Skatt

Løsningene ved kun skatt som virkemiddel blir slik figurene 16 og 17 viser. Vi kan se at det blir satt en høyere skatt i tilfellet uten perfekt patentbeskyttelse. Dette kommer av at lønnsomheten til ideene uten patent er lavere enn ideene med patent. Disse ideene er mindre lønnsomme fordi deres produsenter ikke lenger kan sette en "mark-up". Siden produsentene ikke tjener så mye som det de gjorde tidligere ved disse antagelsene i modellen, vil de ha mindre insentiver til å produsere renseteknologier, og det blir utviklet for få ideer. Det vil si at myndighetene må sette en høyere skattebane i forhold til skattebanen ved perfekt patentbeskyttelse, for å oppnå optimal teknologiutvikling. Derav den høye skatten i denne løsningen, skatteraten starter nå på hele 63,9 dollar i periode 5, og når en maksimalrate på hele 186,5 dollar i år 40. Vi kan allikevel se ut ifra figur 17 at selv om skatten har blitt satt en del høyere, blir det utviklet færre ideer enn tidligere. Etter 45 år vil det nå ved denne løsningen bli utviklet 25 ideer i motsetning til 31,5 ideer med perfekt patentbeskyttelse. Totalkostnaden til denne klimapolitikken er på 1 573,82.



Figur 16



Figur 17

Skatt og subsidie til rensing

Løsningen av denne modellen med skatt og en rensesubsidie (subsidie 1) blir helt lik løsningen ved kun skatt. Dette er fordi ikke alle prisene inneholder en "mark-up" lenger. Markedet for de teknologiene som ikke blir beskyttet av patent har ikke noe dødvektstap, derfor vil ikke en subsidie føre til noen forbedring i disse markedene, men derimot gi et dødvektstap hvis det ble subsidiert. Mine resultater tyder på at for å oppnå optimal teknologiutvikling i en økonomi hvor myndighetene har virkemidlene skatt og rensesubsidie bør myndighetene kun benytte seg av virkemidlet skatt, dersom frafall av patenter er stort. Dette resultatet forutsetter at myndighetene ikke kan skille mellom å gi subsidie til de teknologiene som har patent og de som ikke har patent. Hvis jeg derimot setter en minimal sannsynlighet for at en idé miste sin patent, får jeg det samme resultatet som i perfekt patentbeskyttelses tilfelle hvor man anvender subsidie 1.

Skatt og en direkte subsidie til forskning på teknologisk utvikling

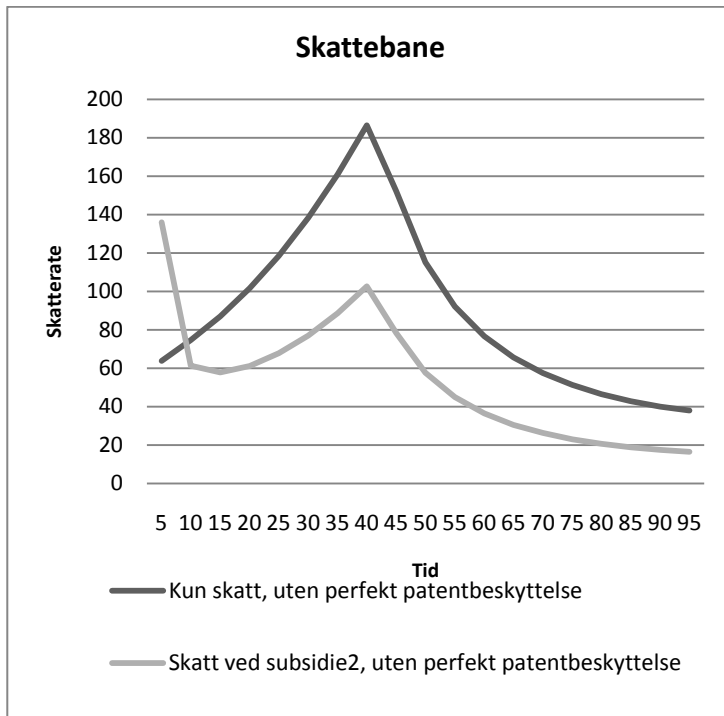
De optimale utviklingsbanene som er løsningen av modellen med en klimapolitikk bestående av en direkte subsidie til forskningen (subsidie 2) og en skatt er vist i figur 18-20. Vi kan her se at det lønner seg med en direkte subsidie til forskningen i motsetning til hva det gjorde i modellen med perfekt patentbeskyttelse. Dette er fordi det nå blir utviklet for få ideer, i motsetning til perfekt patentbeskyttelse hvor det ble utviklet for mange ideer.

For å oppnå optimal idéutvikling gir myndighetene en subsidie direkte til forskningen. Subsidieraten starter på 26,2 dollar og vokser gradvis til den når sitt maksimalpunkt i år 30 ved en rate på 48,3 dollar. Skattbanen begynner nå ekstremt høyt før den avtar i løpet av 15 år, deretter tar den form som tidligere, men på et lavere nivå. Skatteraten starter høyt for å få i gang den teknologiske utviklingen, når ikke alle ideene blir beskyttet av patent er det mindre lønnsomt å drive teknologisk utvikling, derfor kan det se ut som at det trengs høyere insentiver via høyere skatt. Etter hvert som flere ideer blir utviklet og flere ideer mister sin patent så faller skatteraten, ideene som mister sin patent har lavere leiepris enn de andre ideene, derfor trengs det noe mindre insentiver fra skatten for å få folk til å leie disse teknologiene. Skatteraten legger seg etter hvert på en bane som er lik tidligere resultater og som samsvarer med utslippsreduksjonene, men er på et lavere nivå og har sitt andre toppunkt i år 40 ved en skatterate på kun 102,7 dollar som er lavere enn 136 dollar som skatteraten er i den første perioden. Det lavere nivået kommer mest sannsynlig av subsidien.

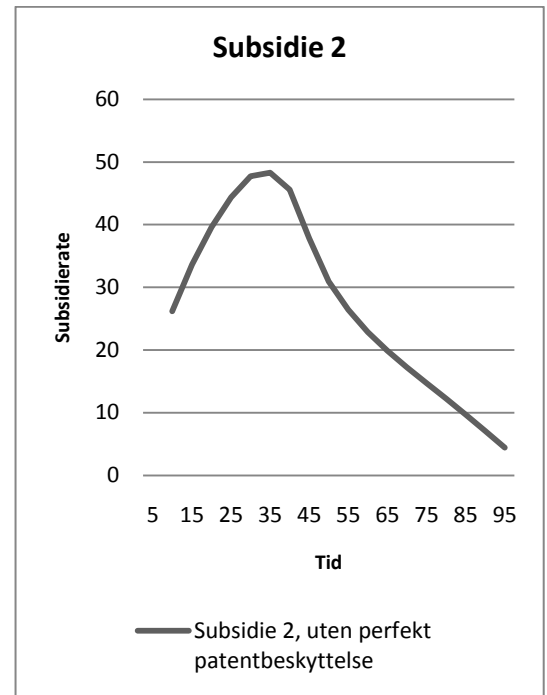
Subsidiebanen er økende fordi vi nå har ”fishing out” kostnader og en direkte forskningssubsidie. Det ser ut som at man i min model ønsker å utsette FoU-kostnadene fremover i tid, hvor kostnadene blir mindre på grunn av diskonteringen. Etter hvert som man har fått redusert det årlige utslippet av CO₂ reduseres også subsidiraten. Det årlige utslippet av CO₂ ved denne klimapolitikken er lik banen ved kun skatt, derfor kun en graf i figur 21.

Ved disse virkemiddelbanene er idéproduksjonen i modellen noe høyere enn hva den er ved kun skatt og ingen patentbeskyttelse, men lavere enn tilfellet ved kun skatt og perfekt patentbeskyttelse. I denne modellen blir det utviklet hele 29,8 ideer i år 45 og totalkostnader er i denne modellen på 1 395,51 det vil si en tydelig forbedring fra politikken med kun skatt. Også her vil man ved lav nok sannsynlighet for at en idé mister sin patent få tilbake løsningen under perfekt patentbeskyttelse, kun bruk av subsidie 1.

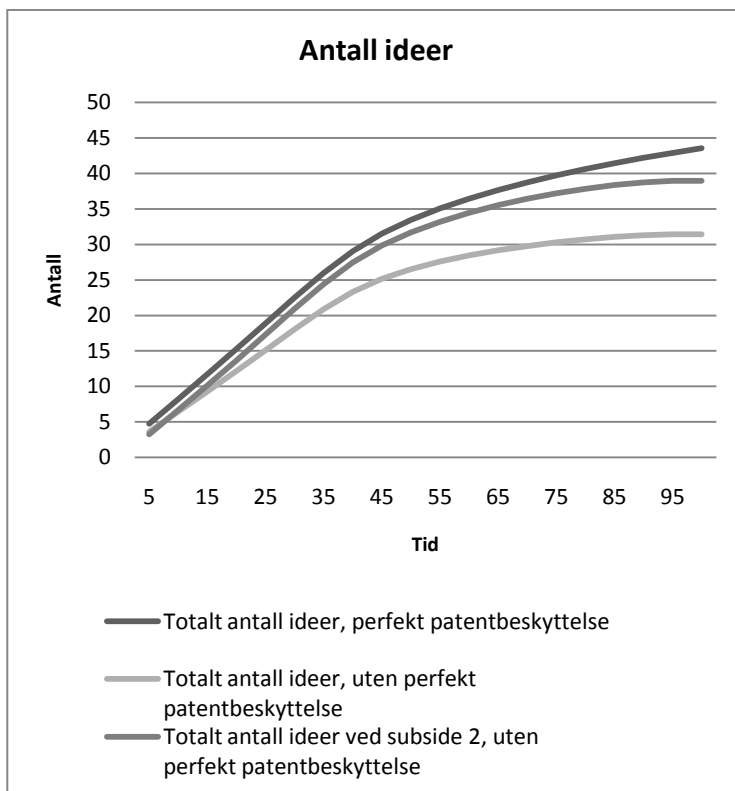
Det vil si at i en modell med ikke perfekt patentbeskyttelse, vil det i utgangspunktet bli utviklet for få ideer hvis man kun bruker virkemidlet skatt. Dette kommer av at lønnsomheten til produksjon av en ny idé har sunket med patentbeskyttelsen. For å få opp produksjonen, vil det ikke lenger ut i fra mine resultater lønne seg med en rensesubsidie, men det er derimot en direkte subsidie til forskningen for å få utviklingen av ideer til å bli mer lønnsom.



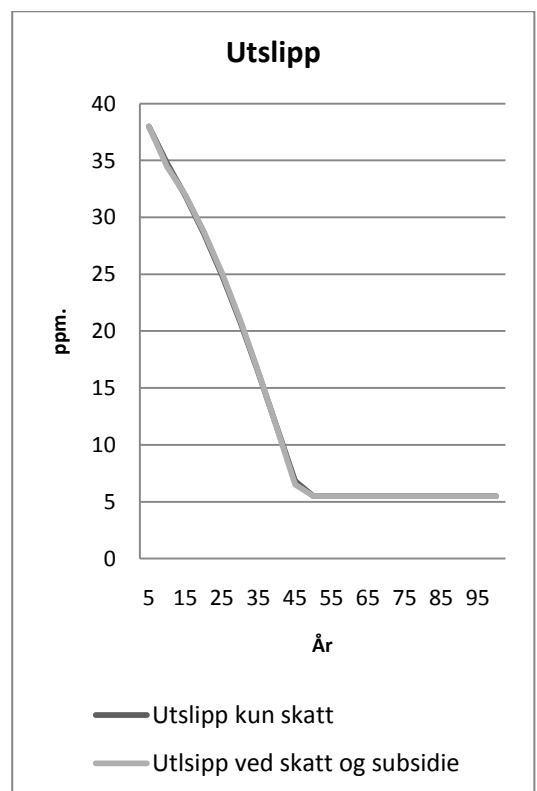
Figur 18



Figur 19



Figur 20



Figur 21

8. Konklusjon

For å se hvordan man skal sette subsidier til CO₂-rensing for å oppnå optimal teknologisk utvikling over tid tilførte jeg subsidier i modellen til Greaker og Pade (2008). Jeg kom frem til at en subsidie til rensing vil redusere effektivitetstapet i modellen. Monopolisten i markedet vil sette en lavere ”mark-up”, men vil allikevel få en høyere profitt. Den høye profitten kommer av at hver enkelt sluttproduktprodusent leier mer av hver enkelt idé som et resultat av rensesubsidien. Det vil si at en rensesubsidie gjør økonomien mer effektiv.

Hvis forskning og utviklingssektorens kostnader er av typen ”fishing out”, vil den optimale subsidien være en rensesubsidie som settes høyt i de første periodene. Man kan da tillate en noe lavere skattebane, for å få bedriftene til å bruke den teknologien som finnes. Hvis FoU kostnadene er av typen ”standing on shoulders”, er det derimot optimalt å sette en høy skatt i de første periodene og en lav rensesubsidie for å få i gang teknologiutviklingen. Den optimale subsidiebanen stiger mer etter hvert som teknologiene blir utviklet, for at man skal benytte seg effektivt av de teknologiene som har blitt utviklet. Under begge kostnadstypene stabiliserer de optimale subsidiebanen seg på det samme nivå etter en viss tid. Hvordan subsidiebanen starter er totalt forskjellig ut i fra hvilke kostnadsfunksjon man har i FoU sektoren.

Hvis teknologiutviklingen ikke blir perfekt beskyttet av patenter så vil den optimale subsidien være en direkte subsidie til forskning og utvikling. Subsidiebanen viser seg å bli stigende før den gradvis avtar, denne formen på subsidiebanen kommer av at man ønsker å utsette forskning og utviklingskostnadene fremover i tid.

I min modell har det å innføre subsidie vist seg å gi en velferdsøkning i forhold til modellen uten subsidie. Det vil si at min modell konkluderer med at man bør subsidiere enten i form av reduserte renseutgifter eller direkte til forskning. Hvilken type subsidie som er mest effektivt avhenger av markedet, i virkeligheten vil det være problematisk å sette en subsidie ut i fra ”mark-up” siden myndighetene har vanskeligheter for å finne ”mark-upen” og fordi man sjelden opplever full patentbeskyttelse i markeder for klimavennlige teknologier. Dermed vil det ut i fra min modell være mest lønnsomt å bruke en direkte subsidie til forskning og utvikling i virkeligheten. Hvordan man skal sette selve subsidiebanen avhenger av kostnadsfunksjonene i forskning og utviklingssektoren.

Kildeliste

Finansdepartementet (2009 a): "Fremtidsrettet og grønn omstilling til arbeid"
<http://www.statsbudsjettet.dep.no/Tiltakspakke-2009/satsninger/?pid=30602#hopp>. Lastet ned 14/4-09.

Finansdepartementet (2009 b): "St.prp. nr. 1 (2008-2009) Skatte-, avgifts-, og tollvedtak"
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/dok/regpubl/stprp/2008-2009/stprp-nr-1-2008-2009--2/3/10.html?id=530413>. Lastet ned 03/5-09.

Greaker M. og Pade L. L. (2008): "Optimal CO₂ abatement and technological change. Should emission taxes start high in order to spur R&D?", Discussion Papers No. 548, juni 2008 Statistisk sentralbyrå, Forskningsavdelingen. (Elektronisk versjon)

IPCC (2000): "IPCC Special Report Emissions Scenarios" www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf. Lastet ned 14/4-09.

IPCC (2007): "Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers". November 2007. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf. Lastet ned 14/04-09

Kyoto Protocol (1998): "Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change". United Nations.

Miljøverndepartementet (2007): "St.meld. nr. 34 (2006-2007) Norsk klimapolitikk"
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/regpubl/stmeld/2006-2007/Stmeld-nr-34-2006-2007-/6.html?id=473445>. Lastet ned 14/4-09.

Miljøverndepartementet (2008): "Bakgrunnsinformasjon om klimaforhandlingene"
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/tema/klima/bakgrunnsinformasjon-om-klimaforhandling.html?id=537780>. Lastet ned 14/4-2009.

Nordhaus, W. D (2007), "The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy". Yale University,
http://nordhaus.econ.yale.edu/dice_mss_091107_public.pdf. Lastet ned 03/05-09.

Perman, R., Y.Ma, J.McGilvray and M.Common (2003): "Natural Resource and Environmental Economics". 3. Utgave. Pearson Education Ltd. Harlow.

Romer, P. (1990): "Endogenous Technological Change" Journal of Political Economy, 1990, vol. 38. no 5 pt.2, The University of Chicago. (Elektronisk versjon)

Skattefunn (2002): "Forskningsrådet, SkatteFUNN" <http://www.skattefunn.no/>. Lastet ned 14/4-09.

Stern, N. (2006 a): "Stern Review on the Economics of Climate Change, Summary of Conclusions" http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Summary_of_Conclusions.pdf. Lastet ned 14/4-09.

Stern, N. (2006 b): "The Economics of Climate Change", HM Treasury, London. http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm. Lastet ned 3/5-09.

Store norske leksikon (2008): "Klimakonvensjonen" <http://www.snl.no/Klimakonvensjonen>. Lastet ned 14/4-2009.

Tekniskukeblad (2008): "EU sier ja til CO₂-støtte på Mongstad" <http://www.tu.no/politikk/article174329.ece>. Lastet ned 25/4-09.

Teknologirådet (2009): "Plan b fra teknologirådet" http://www.teknologiradet.no/dm_documents/Rapport_plan_B_til_web_DEBT2.pdf. Lastet ned 14/4-09.